Grundriß der Luftfahrt
Flugzeug und Luftschiff

Ausgabe B

Oberstufe

Von

K. Schütt

Zweite Auflage

Verlag C. J. E. Volckmann Nachf. E. Wette
Berlin-Charlottenburg 2

Preis 0.96 RM.

LUFTFAHRT UND SCHULE / REIHE I / BAND 3

Grundriß der Luftfahrt

Flugzeug und Luftschiff

Ausgabe B

Oberstufe

Von

Prof. Dr. K. Schütt

Studienrat an der Oberrealschule
in St. Georg in Hamburg

Mit 80 Abbildungen

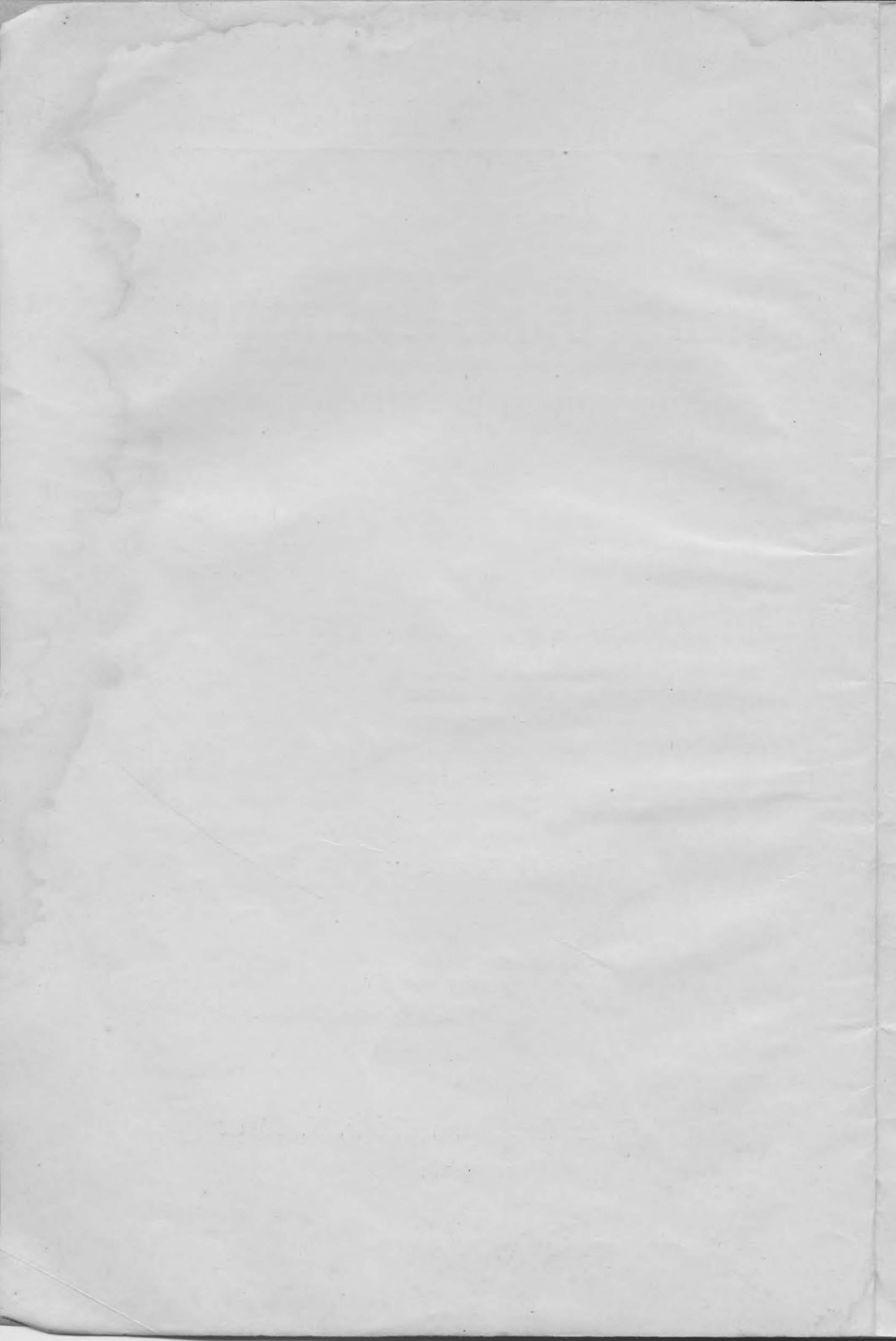
Zweite Auflage

A. Dümlein

1936

Verlag C. J. E. Volckmann Nachf. E. Wette

Berlin-Charlottenburg 2



Vorwort.

Nach dem Erlaß des Herrn Reichsministers für Wissenschaft, Erziehung und Volksbildung soll die Luftfahrtlehre auf den höheren Schulen zunächst im physikalischen Unterricht der Untersekunda behandelt werden. In Obersekunda oder Unterprima soll dann das erworbene Wissen und Können unter Benutzung mathematischer Methoden aufgefrischt und vertieft werden. Doch sollen auch hier Erfahrung und Versuch Grundlage und Ausgangspunkt des Unterrichts sein.

Die Schullehrbücher der Physik behandeln die Luftfahrtlehre, die zum großen Teil für den Unterricht noch Neuland ist, durchweg so kurz und unzulänglich, daß der Schüler aus ihnen keine klare Vorstellung von den etwas verwickelten Erscheinungen gewinnen kann. Ein Lehrheft, das den Stoff in der durch seine Schwierigkeit und seine Bedeutung gebotenen Breite behandelt, ist daher unerläßlich.

Die für die Oberstufe bestimmte Ausgabe B des Grundrisses der Luftfahrt folgt, was Umfang und Gliederung des Stoffes betrifft, durchaus den Anregungen des ministeriellen Erlasses. Zunächst wird die Strömung idealer Flüssigkeit behandelt. Dann wird gezeigt, wie sie sich unter dem Einfluß der inneren Reibung umwandelt. Weiter werden Strömung und Kräfte an Widerstandskörpern und Tragflügel untersucht und die Bedeutung der Polare und der Flügelstreckung für die Flugleistungen dargelegt. An die Behandlung der Luftschraube und der Wirkungsweise des Leitwerks schließt sich die Besprechung von Motor und Segelflug an. Von einer Behandlung des Motors wird abgesehen, da er ja schon lange zum festen Bestande des Unterrichts der Oberstufe gehört. Statt dessen werden Luftschiff und Freiballon, die Bedeutung der Luftfahrzeuge als Verkehrsmittel und ihre Verwendung im Kriege besprochen. Zahlreiche Abbildungen, u. a. von neuzeitlichen Flugzeugen, erhöhen die Anschaulichkeit.

Ausgabe B setzt keine Kenntnisse auf dem Gebiete der Luftfahrt voraus; denn der Schüler der Oberstufe wird z. Zt. kaum Gelegenheit gehabt haben, sie auf der Unterstufe zu erwerben. Wenn in einigen Jahren nach Durchführung des Erlasses Modellbau und Luftfahrtunterricht auf der Unterstufe jeden Schüler der Oberstufe vorgebildet haben, wird Ausgabe B eine andere Gestalt erhalten und etwas mehr in die Tiefe gehen können.

Die zweite Auflage ist gegenüber der ersten nur unwesentlich geändert worden.

K. Schütt

Inhalt.

I. Strömungslehre.

Die Strömungslehre untersucht die Bewegungen von Flüssigkeiten und Gasen. Die kleinsten Teile dieser Körper lassen sich im Gegensatz zu denen fester Körper leicht gegeneinander verschieben. Das hat zur Folge, daß ihr Verhalten oft übereinstimmt. Auch die Erscheinungen und Gesetze der Strömung sind für beide meistens gleich. Man kann daher die an Luftströmen gemachten Erfahrungen auf Wasser übertragen und umgekehrt. Wir verstehen hinfort unter Flüssigkeit sowohl die eigentlichen Flüssigkeiten wie auch die Gase.

Wenn wir einen Körper einmal durch ruhende Flüssigkeit schleppen und dann den ruhenden Körper anströmen, dann sind die Strömungsgesetze in beiden Fällen gleich. Wer von beiden sich bewegt, ist gleichgültig. Die relative Geschwindigkeit, d. h. der Geschwindigkeitsunterschied, ist für die Größe der Kräfte maßgebend. In der Flugtechnik sieht man die Vorgänge immer so an, als wenn das Flugzeug angeblasen wird. Man gibt die Anblas- und nicht die Flugrichtung an, die der ersteren entgegengerichtet ist.

Kräfte messen wir in Kilogramm (kg), Längen in Metern (m) und die Zeit in Sekunden (sec) oder Stunden (Std).

1. Die Strömung idealer Flüssigkeiten.

Die Bewegungslehre fester Körper untersucht zunächst die „freie", d.h. reibungslose Bewegung, die sich nicht verwirklichen läßt und nur in unserer Vorstellung vorhanden ist. Dann führt man die Reibung als hemmende Kraft ein, ermittelt, wie sie die freie Bewegung verändert, und findet so die Gesetze der wirklichen Bewegung, die wir überall beobachten. Da das Verfahren zum Erfolg führt, wendet man es auch in der Aero- und Hydrodynamik*) an. Wir stellen uns eine ideale Flüssigkeit vor, die weder zähe noch zusammendrückbar ist. Wenn eins ihrer Teilchen an einem zweiten vorbeifließt, nimmt es dieses nicht mit und wird nicht von ihm gebremst. Auch an der Wandung eines durchströmten Rohres findet keine Reibung statt, so daß die Geschwindigkeit im Rohrquerschnitt überall die gleiche ist. Die lebendige Kraft der Strömung setzt sich nicht in Wärme um.

Wir lernen zunächst Strömungen idealer Flüssigkeiten und ihre Gesetze kennen und untersuchen dann, wie sie durch die innere Reibung verändert werden. Von der Zusammendrückbarkeit können wir fast ausnahmslos absehen.

---

*) Aus dem Griechischen: Lehre von den Kräften in strömender Luft bzw. Wasser.

Wir sind in der glücklichen Lage, die Strömung einer idealen Flüssigkeit modellmäßig vorführen zu können, und zwar auf etwas überraschende Weise. Wir lassen Wasser eine sehr langsame, „schleichende" Bewegung ausführen, indem wir für starke innere Reibung sorgen.

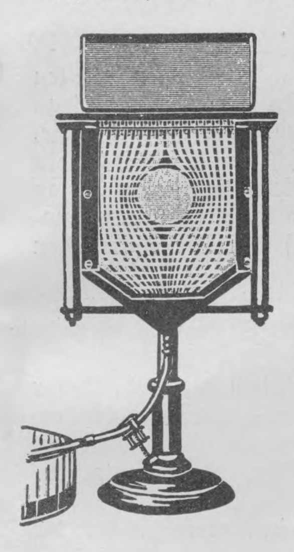


Abb. 1. Stromlinien-Apparat.

Versuch: Wenn wir am *Stromlinien-Apparat* (Abb. 1) den Quetschhahn öffnen, fließt Wasser zwischen den beiden Glasplatten hinab und tritt unten links aus der engen Düse aus. Hier ist die Reibung beträchtlich, die Strömungsgeschwindigkeit daher in der Glaskammer gering. Ein Teil des oben eintretenden Wassers ist rot gefärbt und macht die Bahnen der Wasserteilchen, die *Stromlinien*, sichtbar.

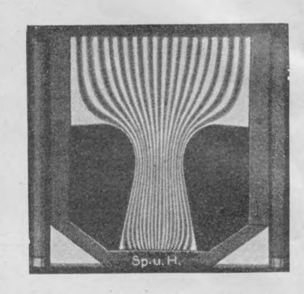


Abb. 2. Stationäre Strömung in einer Düse.

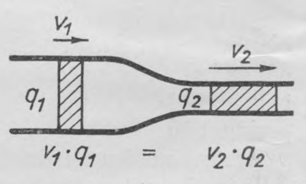
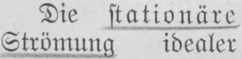


Abb. 3.



Die *stationäre Strömung* idealer Flüssigkeit in einem Kanal verschiedenen Querschnitts zeigt *modellmäßig* Abbildung 2. Stationär ist die Strömung, wenn sich die Geschwindigkeit im Laufe der Zeit nirgends ändert; dabei kann sie aber sehr wohl von Punkt zu Punkt verschieden sein. Durch jeden Querschnitt q muß in der Sekunde die gleiche Wassermenge hindurchfließen, d. h. die Stromstärke ist überall die gleiche. $v_1 \cdot q_1 = v_2 \cdot q_2$ = Wassermenge in der Sekunde = Stromstärke in cbm/sek. (Abb. 3). In Worten: *Die Geschwindigkeiten verhalten sich umgekehrt wie die Leitungsquerschnitte.* Der Satz gilt sowohl für ideale als für zähe Flüssigkeiten.

Das Wasser fließt nirgends quer über die Stromlinien hinweg. Es bewegt sich vielmehr zwischen ihnen wie in Röhren mit festen Wänden; es ist eine *Schichten-* oder laminare Strömung. Wir können nach dem obigen Satze aus dem Abstand der Linien auf die Geschwindigkeit schließen. Sie ist um so *größer*, je *dichter* sich die *Stromlinien zusammendrängen*. In ähnlicher Weise können wir ja aus der Dichte magnetischer und elektrischer Feldlinien, die den Stromlinien *geometrisch* ähnlich sind, auf die Feldstärke schließen.

Versuch: Das Strömungsbild um eine Kreisscheibe (s. Abb. 1) ist symmetrisch zu dem lot- und dem waagerechten Durchmesser. Oberhalb

der Scheibe liegt der Staupunkt; an ihm staut sich der Wasserstrom und teilt sich nach rechts und links.

Wie ändert sich die Geschwindigkeit eines Teilchens auf seinem Wege nach unten? Wie unterscheidet sich die Bewegung der Wasserteilchen unseres Modells von der einer idealen Flüssigkeit? Wo liegt in dem unsymmetrischen Strömungsfeld (Abb. 4) der Staupunkt? Wie sieht das Bild aus, wenn das Wasser nach oben fließt? Zeichne die Stromlinien, wenn die Platte parallel zu ihrer langen und zu ihrer kurzen Kante angeströmt wird!

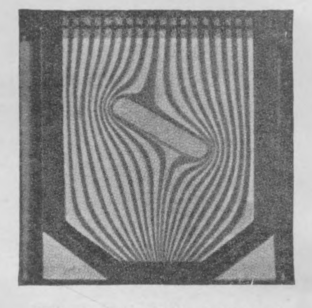


Abb. 4. Die Platte steht schief.

Die Strömung einer idealen Flüssigkeit nennt man „Potentialströmung". Sie ist drehungsfrei, d. h. es treten nirgends Bewegungen in geschlossenen Bahnen auf, wie wir sie häufig als Wirbel in zähen Flüssigkeiten beobachten.

Zur Untersuchung des Druckes im Luftstrom dient das Rohr Abb. 5. An die Öffnungen 1 bis 3 sind als Druckmesser U-Röhren mit Wasser angeschlossen. Bei ruhender Luft steht in ihnen das Wasser in beiden Schenkeln jeweils gleich hoch und zeigt an, daß innen und außen überall der gleiche Druck herrscht, der hydrostatische von 760 mm Quecksilbersäule = rund 10 m Wassersäule (W. s.).

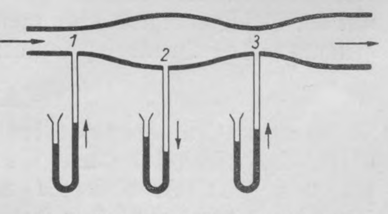


Abb. 5. Je schneller die Luft fließt, desto geringer ihr statischer Druck.

Versuch: Wir blasen von links durch das Rohr. Der Druck der strömenden Luft, der hydrodynamische, ist wesentlich anders. Bei 1 und 3 besteht Unterdruck, bei 2 Überdruck. Dieser statische Druck auf die Rohrwandung, in dem sich die innere Spannung des Luftstromes äußert, hängt von der Rohrweite, d. h. von der Strömungsgeschwindigkeit ab. Je größer diese, desto kleiner ist der statische Druck.

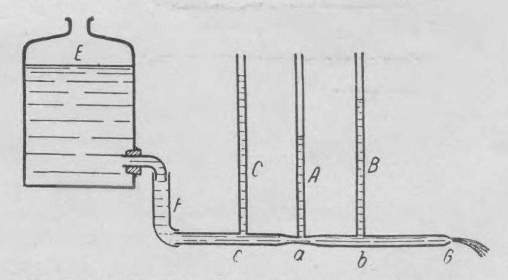


Abb. 6. Auch im Wasserstrom ist der statische Druck auf die Rohrwandung an der engsten Stelle, wo die Geschwindigkeit am größten ist, am kleinsten.

Das gleiche Ergebnis zeigt der Versuch mit strömendem Wasser (s. Abb. 6).

Jetzt leiten wir das Druckgesetz strömender idealer Flüssigkeit ab: Die Flüssigkeit, die innerhalb des Zylinders (Abb. 7) von der Grundfläche f, der Höhe s und dem Volumen u liegt, hat die Masse m.

Sie verschiebt den Kolben eines Wassermotors von der Fläche f um die Strecke s nach rechts. Dabei leistet sie Arbeit (= Kraft k · Weg s) im Betrage von

$$k \cdot s = p \cdot u.$$

p ist nämlich die Kraft auf die Flächeneinheit, und das Volumen ist Kolbenfläche f mal Weg. Also

$$p = k : f \text{ und } u = f \cdot s.$$

Die nach der Arbeitsleistung noch in der betrachteten Flüssigkeit enthaltene lebendige Kraft ist $\frac{1}{2} m \cdot v^2$, wobei v die Strömungsgeschwindigkeit bedeutet. Nach dem Gesetz von der Erhaltung der Energie ist:

$$p \cdot u + \frac{m}{2} \cdot v^2 = \text{konst.}$$

Wir dividieren durch das Volumen u:

$$p + \frac{1}{2} \cdot \frac{m}{u} \cdot v^2 = p + \frac{\rho}{2} \cdot v^2 = p_0.$$

$\rho = \frac{m}{u}$ bedeutet die Dichte der Flüssigkeit, p_0 eine Konstante, die man den Gesamtdruck nennt. $\frac{1}{2}\rho \cdot v^2$ ist die lebendige Kraft, die in 1 cbm mit der Geschwindigkeit v strömender Luft steckt, und wird Staudruck q genannt. Das Druckgesetz lautet:

$$p + q = p_0.$$

In Worten: In einer Strömung idealer Flüssigkeit ist in allen Querschnitten die Summe von statischem Druck und Staudruck konstant. Der statische Druck ist also um so kleiner, je größer die Geschwindigkeit der Strömung ist. $p + q = p_0$ wird nach dem Franzosen Bernoulli, der sie in der Mitte des 18. Jahrhunderts abgeleitet hat, die Bernoulli'sche Gleichung genannt.

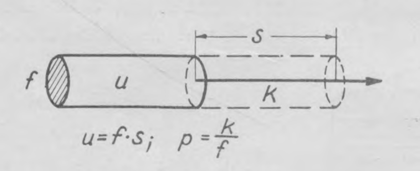


Abb. 7.
Zur Ableitung der Bernoulli'schen Gleichung.

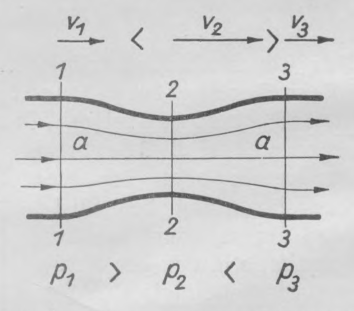


Abb. 8. Strömung in einem Venturi-Rohr.

Die Maßeinheiten für p, q und p_0 sind natürlich die gleichen: Der statische oder Wanddruck p wird nämlich als auf die Flächeneinheit wirkende Kraft in kg/qm gemessen, der Staudruck q als lebendige Kraft in 1 cbm Luft in mkg/$_{m^3}$. Das ist aber dasselbe wie kg/qm.

Abb. 8 erläutert die Strömungsverhältnisse in einem sogenannten Venturi-Rohr. Wir betrachten ein Teilchen, das von links durch das Rohr strömt. Es bewegt sich vom Querschnitt 1 nach 2 unter abnehmendem Druck (bergab) beschleunigt und muß von 2 nach 3 gegen den wachsenden Druck ansteigen (bergauf). Es ist vergleichbar einer Kugel, die reibungslos auf einer in Form der oberen Stromlinie aa gebogenen Bahn von 1 nach 3 rollt. Ihr Energieinhalt bleibt derselbe. Aber von 1 nach 2 wandelt sich potentielle Energie in kinetische um; von 2 nach 3 ist es umgekehrt. Diese Betrachtung gilt für sämtliche Teilchen im Rohr.

Die Bernoulli'sche Gleichung gilt für die verlustfreie Strömung idealer Flüssigkeiten, für zähe angenähert. Bei unseren Versuchen geht lebendige Kraft verloren und setzt sich in Wärme um. Daher ist das nach dem Druckgesetz zu erwartende Ergebnis nur unvollkommen. So würde z. B. ideale Flüssigkeit bei Versuch (Abb. 6) in B und C ebenso hoch wie in E stehen.

Einige Versuche machen uns mit dem Druckgesetz vertraut. 1. Blase zwischen die beiden Postkarten hindurch, die an Stricknadeln hängen (Abb. 9, 1)! Wie entsteht das Klappern? 2. Wie verhält sich die untere

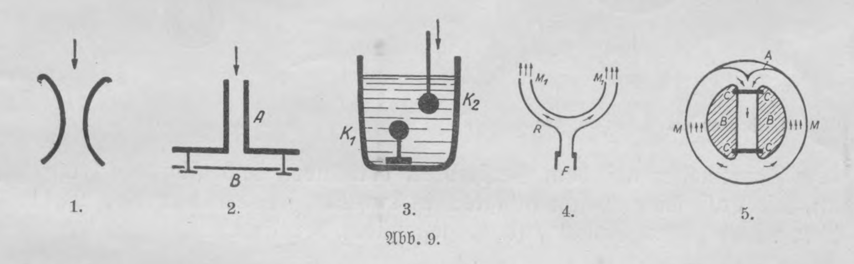


Abb. 9.

leichte, bewegliche Scheibe, wenn ich oben hineinblase (Abb. 9, 2)? „Hydrodynamisches Paradoxon". 3. Bewege Kugel K_2 an der im Wasser am Faden hängenden vorbei (Abb. 9, 3)!

Zeichne das Strömungsbild!

Versuch: Blase die Papierscheibe an (Abb. 10)! Erkläre den Befund auf Grund des Strömungsbildes in Abb. 4! Ein Schiff, das ohne Fahrt und daher nicht steuerbar ist, stellt sich quer zum Winde.

Erkläre das Ansaugen der Luft im Gasbrenner, die Saugwirkung von Wasserstrahlpumpe, Quecksilberdampfpumpe und eines drehbaren Schornsteinaufsatzes, die Wirkung des Vergasers im Benzinmotor und die des Zerstäubers!

Versuch: Wir blasen das Pitot-Rohr mit dem Fön an (Abb. 11). Das U-Rohr zeigt eine Druckerhöhung im Staupunkt A an, den Staudruck.

Nach der Bernoulli'schen Gleichung ist:

$$\text{(für B)}\ p_1 + \rho/_2 \cdot v_1{}^2 = p_2 + \rho/_2\, v_2{}^2\ \text{(für A)}.$$

In A kann die Luft nicht weiter, sie ist in Ruhe: $v_2 = 0$. Mithin ist $p_1 + \rho/_2 \cdot v_1{}^2 = p_2$ oder $\rho/_2 \cdot v_1{}^2 = p_2 - p_1 = 9$ mm W. s. $= 9$ kg/qm; d. h. in A ist der (Gesamt) Druck p_2 um den Staudruck $\rho/_2 \cdot v_1{}^2$ größer als der statische Druck in B.

$v_1 = \sqrt{2/\rho\,(p_2 - p_1)} = 12$ m/sec $= 43{,}2$ km/Std; $\rho = 1/_8$ (s. S. 17).

Wir können also das Pitot-Rohr verwenden, um Strömungsgeschwindigkeiten zu messen. Ein ähnliches Rohr ist außen am Flugzeug angebracht, so daß es frei angeblasen wird. Es ist durch eine Leitung mit

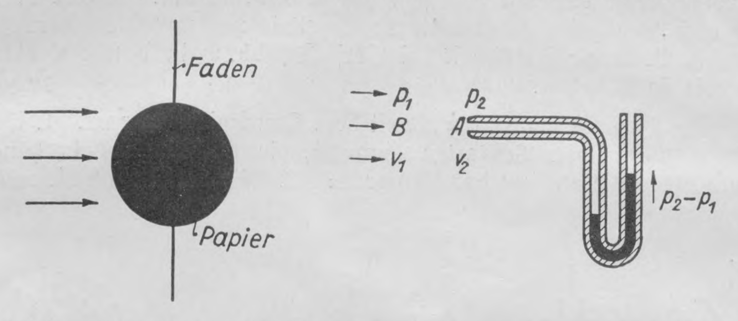


Abb. 10. Spanne den Faden mit den Händen! Abb. 11. Pitot-Rohr*).

dem Fahrtmesser auf dem Gerätebrett verbunden und gibt dem Führer an, wie groß seine Geschwindigkeit in km/Std. gegenüber der Luft, aber nicht „über Grund", (d. h. gegenüber der Erde) ist.

Merke: 1 mm W. s. = 1 kg/qm. Wenn wir nämlich über eine waagerechte Fläche von 1 qm Wasser 1 mm hoch schichten, so brauchen wir dazu 1 l, das 1 kg wiegt.

2. Die Strömung zäher Flüssigkeiten.

Versuch: Die Wasserfläche unseres Strömungskanals (Abb. 4 und 5, vorige Seite) bestreuen wir mit Bärlappsamen. Blasen wir mit dem Fön F durch das Gabelrohr R flach gegen die Wasseroberfläche bei M_1 M_1, dann läuft das Wasser im Sinne der Pfeile um und strömt die Widerstandskörper (Platten, Zylinder, Stromlinienprofile) an. Mittels Bildwurfgeräts bilden wir die Strömungsbilder vergrößert ab. Auf der Vorderseite stimmt das Bild mit der idealen Flüssigkeit überein. Hinter dem Zylinder und der Platte ist es ganz anders; hier treten lebhafte Drehbewegungen auf. Die Stömung ist verwirbelt (turbulent).

*) Es ist vor etwa 200 Jahren von dem Franzosen Pitot erfunden.

Wir erkennen einzelne Wirbel. Sie lösen sich abwechselnd rechts und links ab und schwimmen fort. In zwei aufeinanderfolgenden kreist das Wasser widersinnig. Abbildung 12 zeigt die „Wirbelstraße". Wir beobachten sie am besten, wenn wir eine Stricknadel durch das ruhende Wasser des

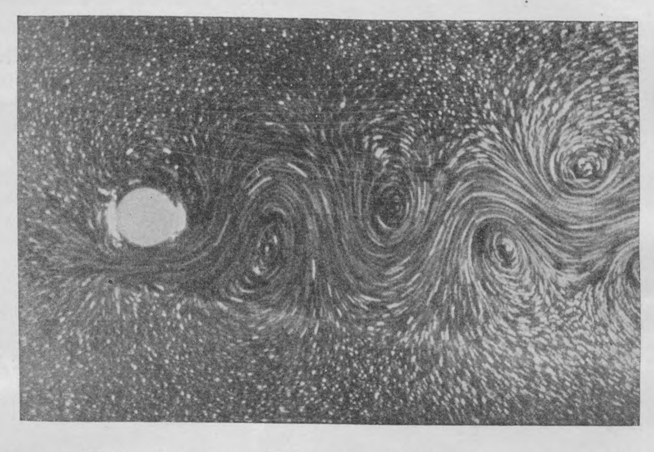


Abb. 12. Die Wirbel auf der Rückseite des geschleppten Zylinders

Aus Tietjens-Prandtl, Hydro- u. Aeromechanik, Band II, Verlag Julius Springer, Berlin.

Mittelkanals (Abb. 9,5) hindurchziehen. Sie ist etwa 3- bis 4mal so breit wie der Zylinderdurchmesser. Es wird also eine große Wassermenge in Drehbewegung gebracht, die ziemlich lange andauert. Das Kielwasser eines Dampfers hebt sich ja noch längere Zeit deutlich von der Umgebung ab.

Die Bewegungsenergie, die aus dem Schiff in das Wasser abgewandert ist, liefert die Schiffsantriebsmaschine. Wäre die rückwärtige Strömung nicht verwirbelt, sondern laminar, dann wäre die erforderliche Zugkraft und Antriebsleistung wesentlich geringer. So kann ein einzelner Mann einen 100 Tonnen schweren Kahn durch Staken ganz langsam (schleichend) fortbewegen. Der Widerstand geschleppter (angeströmter) Körper ist also um so größer, je stärker die Wirbelbildung ist.

Die Entstehung der Wirbel bei Beginn der Strömung („beim Anfahren") lernen wir an einer Reihe von Strömungsbildern kennen, die im Wasserkanal des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Strömungsforschung in Göttingen hergestellt sind. Es sind Zeitaufnahmen. Jedes Aluminiumteilchen zeichnet während der Belichtung seine Bahn auf der Platte auf. Je länger der Strich, desto größer seine Geschwindigkeit. Ein Punkt bedeutet, daß das Teilchen sich nicht fortbewegt hat. In die unmittelbare Umgebung des Zylinders hat man reichlich Aluminiumpulver gebracht (siehe den weißen Ring in Abb. 13). Die Strömung, die von links nach rechts geht, hat hier soeben begonnen. Aus der Kürze der waagerechten hellen Linien geht hervor, daß die Geschwindigkeit noch gering ist. Deshalb haben wir es mit einer Schichtenströmung (vgl. Abb. 1) zu tun. Die Wirkung der inneren Rei-

bung macht sich bei der geringen Geschwindigkeit noch nicht bemerkbar. Im nächsten Augenblick (Abb. 14) strömt das Wasser schon schneller. Hinter dem Zylinder sammelt sich ruhende Flüssigkeit. In ihr bildet sich (Abb. 15) ein Wirbelpaar, um das die Strömung nach beiden Seiten ausbiegt. In Abb. 16 sind die beiden Wirbel gewachsen. Das Anfahren ist jetzt beendet, die volle Geschwindigkeit erreicht. Der größere Wirbel oben (Abb. 17) schwimmt nach rückwärts fort, während

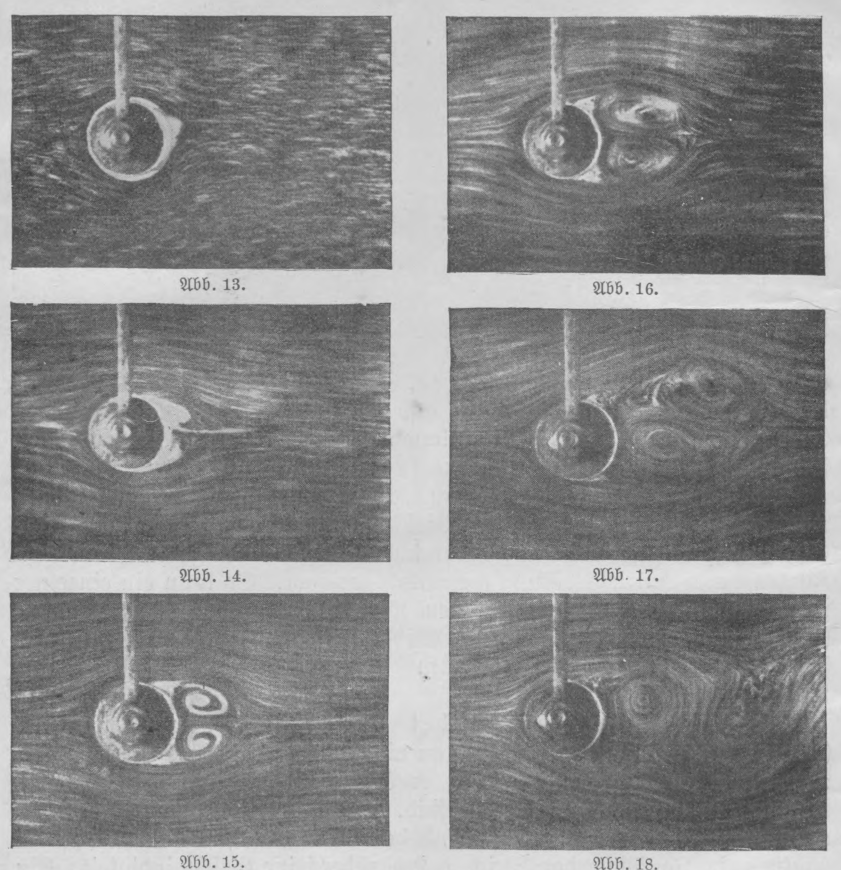


Abb. 13. Abb. 16. Abb. 14. Abb. 17. Abb. 15. Abb. 18.

Abb. 13—18. Die Wirbel bilden sich beim Anfahren aus.
(Aus Prandtl, Abriß der Strömungslehre, Verlag Fr. Vieweg & Sohn A.-G., Braunschweig).

in Abb. 18 der untere nach oben geht. Gleichzeitig bildet sich unten ein neuer. Weiterhin lösen sich in ziemlich regelmäßiger Folge oben und unten Wirbel ab und bilden die Wirbelstraße (Abb. 12).

Die Wirbel entstehen in der Grenzschicht, so nennt man die dünne, dem Zylinder anliegende Flüssigkeitsschicht. Abbildung 19 zeigt sie an

der ebenen festen Wand W. Da Wasser die Wand benetzt und an ihr haftet, ist die wandnächste Schicht in Ruhe. Die folgende hat eine geringe Geschwindigkeit; sie nimmt in den folgenden Schichten nach außen zu bis zur vollen Geschwindigkeit v_0 der freien Strömung, die außerhalb der Grenzschicht G nicht mehr von der Wand beeinflußt wird. Jede Schicht in G wird von ihrem Nachbar unten gebremst und oben an-

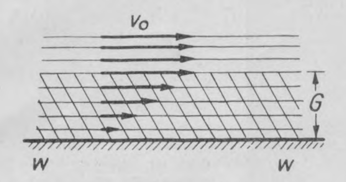


Abb. 19. Die Grenzschicht.

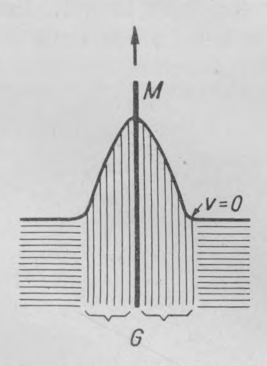


Abb. 20. Grenzschicht in Honig.

getrieben. Die Dicke der Grenzschicht, in der also ein Geschwindigkeitsgefälle senkrecht zur Wand besteht, beträgt bei Luftschraubenblättern 0,1—1 cm, an Tragflügeln 1 bis 10 cm und bei Luftschiffen und Schiffen 10—100 cm. Wenn man umgekehrt den Körper durch ruhende Flüssigkeit bewegt, nimmt natürlich die Geschwindigkeit nach dem Körper hin zu. In idealen Flüssigkeiten gibt es keine Grenzschichten; hier hat die wandnächste Schicht die volle Geschwindigkeit v_0 der freien Strömung.

Versuch: Wir zeigen eine Grenzschicht, indem wir ein Messer M aus dünnflüssigem Honig ziehen (Abb. 20).

Abbildung 21 zeigt schematisch das Strömungsbild idealer Flüssigkeit um einen Zylinder. Wir betrachten ein Flüssigkeitsteilchen auf Stromlinie 1-1 ganz in der Nähe der Oberfläche, also dort, wo in zäher Flüssigkeit die Grenzschicht ist. Es bewegt sich wie eine reibungslos rollende Kugel

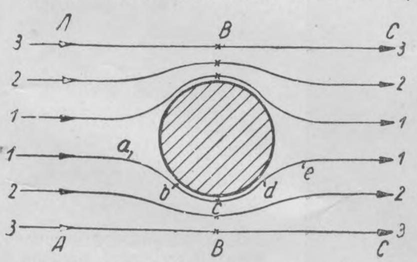


Abb. 21. Potentialströmung um einen Zylinder.

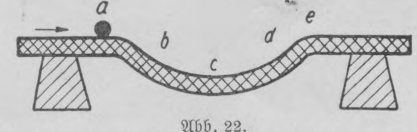


Abb. 22. Modell der Bewegung längs einer Stromlinie.

in Richtung abnehmenden statischen Druckes von a „bergab" nach c und steigt dann entgegen dem zunehmenden Druck „bergan" nach e. Da ihm keine Energie entzogen wird, erreicht es e mit der gleichen Geschwindigkeit, die es in a hatte.

Jetzt soll ein Teilchen einer zähen Flüssigkeit den gleichen Weg zurücklegen. Es wird durch die innere Reibung gehemmt. Seine Geschwin-

digkeit ist kleiner als die der Teilchen idealer Flüssigkeit und zwar um so kleiner, je näher es e kommt. Beim Ansteigen nach e gegen den wachsenden Druck kann es vorkommen, daß es e nicht erreicht, sondern vorher zur Ruhe kommt, „stecken bleibt". Es sammelt sich dann, da der Zustrom von links weitergeht, in der Grenzschicht ruhende Flüssigkeit an

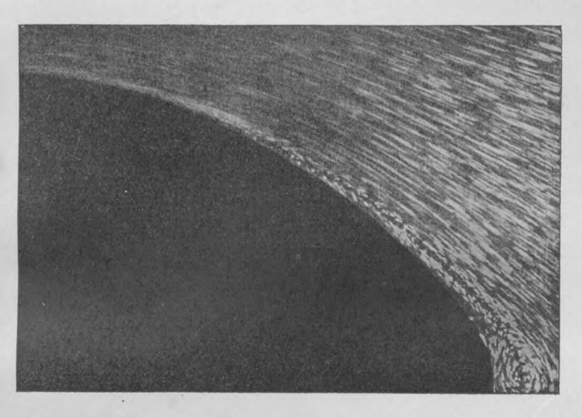


Abb. 23. Grenzschichtströmung entlang der Rückseite des Zylinders (gegen den Druckanstieg). (Aus Prandtl-Tietgens, Hydro- u. Aeromechanik, Band II, 1930. Verlag Julius Springer, Berlin).

(siehe Abb. 14). Es kann sogar eine Rückströmung nach Stellen niederen Druckes (links) stattfinden. Ein Modellversuch erläutert den Vorgang.

Versuch: Die nach rechts rollende Kugel (Abb. 22) bleibt kurz vor e einen Augenblick stehen und rollt dann zurück.

Die vergrößerte Abbildung 23 zeigt die in der Grenzschicht steckengebliebenen Teile, die zum Teil in Ruhe und unten rechts im Wirbeln sind.

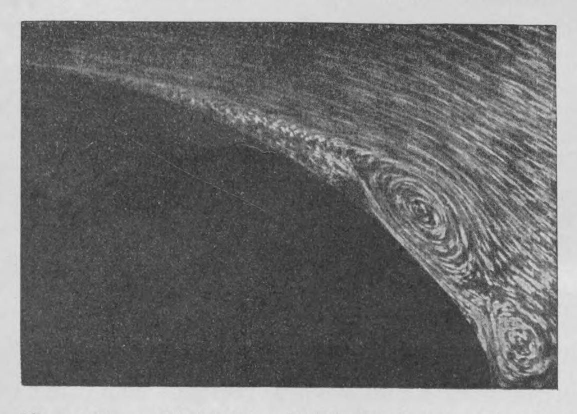


Abb. 24. Die gleiche Strömung etwas später. (Aus Prandtl-Tietgens, Hydro- und Aeromechanik, Band II, 1930. Verlag Julius Springer, Berlin).

Einen Augenblick später (Abb. 24) ist der erste Wirbel gewachsen und weiter links hat sich ein zweiter gebildet. Die antreibende freie Strömung entfernt sich mehr und mehr von der Wand; dadurch wird wieder der Anstieg der Grenzschichtteile gegen den zunehmenden Druck gehemmt. Die Wirbel schwimmen schließlich fort, während sich in der Grenzschicht dauernd neue

bilden, so daß nach kurzer Zeit die ganze Rückseitenströmung vollkommen verwirbelt ist. Die Stromlinien biegen weit nach oben um die Wirbelzone aus. „Die Strömung ist abgerissen."

Die innere Reibung der zähen Flüssigkeit gestaltet so, ausgehend von der Grenzschicht, die Strömung vollkommen um. Aus der drehungsfreien, laminaren Potentialströmung wird die turbulente. Entscheidend für den Vorgang ist die Krümmung der Wand nach der Rückseite zu: starke Krümmung bedeutet beträchtliche Erweiterung des Strömungsquerschnitts und starke Druckzunahme.

Ecken und Kanten können wir als Flächen mit starker Krümmung auffassen. Der unvermeidbare starke Druckanstieg hat Steckenbleiben der Grenzschicht, Wirbelbildung, Abreißen der Strömung und Widerstandserhöhung zur Folge.

Der Tropfenkörper, den Abbildung 25 in der Wasserkammer zeigt, verjüngt sich ganz allmählich nach hinten. Der Druck steigt hier so langsam an, daß die Strömung nicht abreißt.

Versuch: Wenn wir den Tropfenkörper schleppen, ist nur eine ganz schmale Wirbelzone zu sehen. Die Strömung liegt bis zur Spitze hinten an. Er wird daher auch Stromlinienkörper genannt. Sein Widerstand ist beim Anblasen und Schleppen sehr klein.

Versuch: Liegt aber die Spitze vorn, dann beobachten wir Wirbel. Die stumpfe Rückseite bedingt einen steilen Druckanstieg und damit Abreißen der Strömung. Der Widerstand ist jetzt viel größer.

Die Riffelmarken, die wir am Meeresstrande im Sand und nach Wind auf Schneeflächen beobachten, sind auf Grenzschichtvorgänge zurückzuführen. Ähnliche Erscheinungen beobachtet man gelegentlich in der Atmosphäre, wenn zwei verschiedene Luftschichten übereinanderliegen und sich nach verschiedener Richtung bewegen. Es können sich dann in der Grenzschicht waagerechte, annähernd parallele Wolkenstreifen bilden.

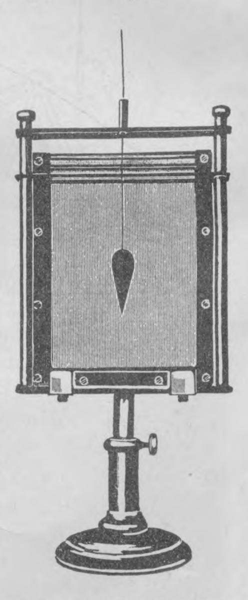


Abb. 25. Schleppversuch mit Tropfenkörper.

II. Der Luftwiderstand.

1. Körperform und Luftwiderstand.

Der Widerstand eines durch eine Flüssigkeit geschleppten oder von ihr angeströmten Körpers setzt sich aus zwei Teilen zusammen: dem Staudruck vorn und dem Sog hinten, den die sich anhängenden Wirbel hervorrufen. Namentlich die Größe der Kräfte auf der Saugseite ist stark von der Körperform, dem Profil, abhängig.

Versuch: Wir befestigen die achsensymmetrischen Profile (Abb. 26) auf der Briefwaage und blasen sie in Richtung ihrer Achse an. Mit Ausnahme von 2 haben die Profile gleiche Stirnfläche, d. h. die größte

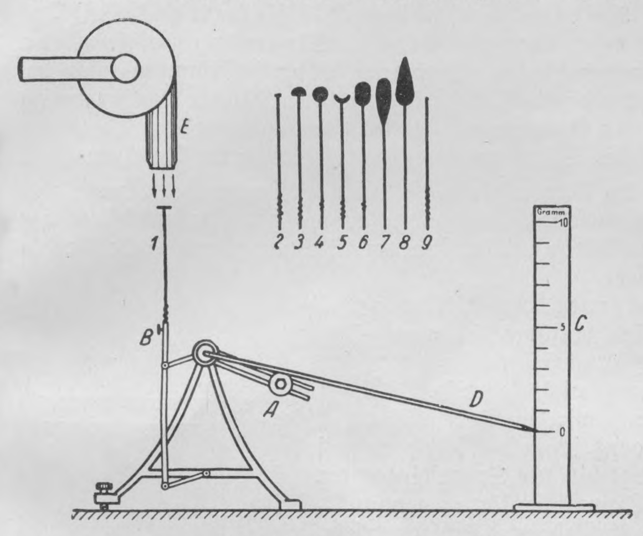


Abb. 26. Der Luftwiderstand ändert sich beträchtlich mit der Körperform.

senkrecht zum Luftstrom stehende Fläche ist für alle gleich. Der lange Zeiger D zeigt die Größe der Kraft an, die der Luftstrom auf sie ausübt, also ihren Luftwiderstand. — Deute die Versuchsergebnisse!

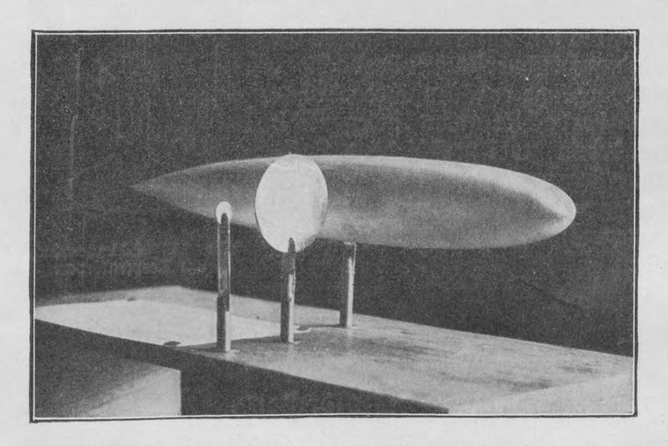


Abb. 27. Luftwiderstand von Tropfenkörper und kleiner Scheibe sind gleich, der der großen ist 25mal so groß. Die kleine Scheibe stellt die Größe der schädlichen Fläche des Tropfenkörpers dar.

Versuch: Wir zeigen, daß der Luftwiderstand auch von der Größe der Stirnfläche und von der Blasgeschwindigkeit abhängt.

Abbildung 27 zeigt einen Stromlinienkörper. Sein Widerstand ist kleiner als der jedes anderen Körpers gleicher Stirnfläche. Die

kleine Scheibe links stellt seine schädliche Fläche dar, d. h. sie hat den gleichen Widerstand wie der große Tropfenkörper. Ihre Fläche ist nur $^1/_{25}$ seiner Stirnfläche. Diese wird durch die große Scheibe dargestellt.

2. Windkanal.

Sorgfältige Messungen von Luftwiderstand und andern Luftkräften werden in den aerodynamischen Versuchsanstalten ausgeführt. Die erste und bekannteste ist das Anfang des Jahrhunderts entstandene Kaiser=Wilhelm=Institut für Strömungsforschung in Göttingen. Der Leiter ist Professor Prandtl.

In seinem Windkanal (Abb. 28) treibt die auf der Achse eines Elektromotor sitzende Schraube a Luft im Kreislauf durch den Kanal. Leitschaufelsysteme c erleichtern das Kurven, und Gleichrichter b zwingen die Luftteilchen in parallele Bahnen. In der Meßstrecke d, die einen Durchmesser

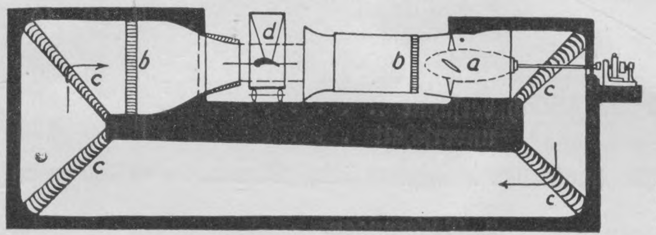


Abb. 28. Der Göttinger Windkanal.

von etwa 2 m hat, werden Modelle von Flugzeugen, Türmen, Autos, Lokomotiven usw. an feinen Drähten aufgehängt und angeblasen. Die Luftkräfte werden mit Kraftmessern (Dreikomponentenwaage) gemessen. Die Luftgeschwindigkeit kann bis über 50 m/Sek. meßbar gesteigert werden.

Die Widerstandsformel für einen angeblasenen Körper lautet:

$$W = c_w \cdot f \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2 = c_w \cdot f \cdot q \text{ (Einheit kg).}$$

f ist die Stirnfläche des Körpers in qm, v die Relativgeschwindigkeit Körper=Luft in m/sec., ρ die Luftdichte, d. h. die Masse von 1 cbm Luft. Da 1 cbm Luft rund 1,3 kg wiegt, ist $\rho = \frac{1{,}3}{9{,}81} = \frac{1{,}3}{\text{rund } 10} = \frac{1}{8}.$

In 2000 m Höhe ü. d. M. ist $\rho = \frac{1}{10}$, in 6000 m $= \frac{1}{16}$. c_w ist die Widerstandsbeizahl. Man faßt in ihr alle anderen Einflüsse, nämlich Körperform und Beschaffenheit der Körperoberfläche, zusammen. $\frac{\rho}{2} \cdot v^2$ $= q$ ist der Staudruck in kg/qm oder mm W. s. Eine der Aufgaben der aerodynamischen Forschungsanstalten besteht darin, die Beizahl c_w von Körpern, die für Luftfahrt, Hochbauwesen usw. in Frage kommen, zu bestimmen. Zu dem Zweck mißt man im Windkanal den Widerstand W

kleiner geometrisch ähnlicher Modelle und berechnet c_w mit Hilfe der Formel; v, f und ρ sind ja bekannt.

Die Ergebnisse, die veröffentlicht werden, ermöglichen dem Konstrukteur, den Widerstand von ihm benötigter Bauteile zu berechnen, ohne daß er eigne Messungen macht.

Zahlentafel 1.		$C_w = 100\,c_w$
1.	Dünne ebene Platte senkrecht zur Anblasrichtung, Länge etwa gleich Breite	110—120
2.	Offene Halbkugel, von der konvexen Seite angeblasen	etwa 35
3.	Offene Halbkugel, von der hohlen Seite angeblasen	130—160
4.	Kugel	20—40
5.	Tropfenkörper	5,6
6.	Flugzeugrumpf	10—30
7.	Flugzeugrad, seitlich verschalt	24—60
	unverschalt	100—120

Da Zahlen mit Dezimalstellen unbequem sind, gibt man $C_w = 100\,c_w$ an.

3. Rechnungen.

Wir führen einige Rechnungen durch; es genügt stets die Errechnung der beiden ersten Ziffern.

a. Wie groß ist der Winddruck auf 1 qm Schornsteinfläche? Die höchste vorkommende Windgeschwindigkeit (bei Windstärke 12) ist 50 m/sec. = 180 km/Std., die im Windkanal gemessene hundertfache Beizahl 67.

b. Das Luftschiff „Graf Zeppelin" hat eine Reisegeschwindigkeit von 117 km/Std., eine größte Dicke von 30 m und die Beizahl (ohne Gondeln, Ruder und Leitflächen) $C_w = 5{,}7$. Wie groß ist sein Luftwiderstand in geringer Höhe ($\rho = \frac{1}{8}$) und 2000 m über dem Meeresspiegel ($\rho = \frac{1}{10}$)?

Wie viel mal so groß wäre der Widerstand eines kugelförmigen Ballons von gleichem Durchmesser, der mit 117 km/Std. angeblasen wird?

c. Wenn sich ein Fahrzeug stationär (also gleichförmig) und geradlinig bewegt, ist die Zugkraft Z gleich dem Bewegungswiderstand W. Wäre nämlich Z größer als W, dann würde die Fahrt solange beschleunigt, bis der mit der Geschwindigkeit wachsende Widerstand gleich Z geworden wäre. Zeichne das Vektorendiagramm von Z, W und Gewicht G. G wird bei Land- und Wasserfahrzeugen vom Erdboden, bei Luftfahrzeugen vom Auftrieb getragen. Bei den ersteren setzt sich W aus 1. Roll- und Reibungs- bzw. Wasserwiderstand und 2. Luft-

widerstand zusammen, während die Luftfahrzeuge nur den Widerstand der Luft zu überwinden haben.

Der für das Luftschiff errechnete Widerstand W ist also die für seinen Reiseflug erforderliche Zugkraft Z.

Unter der Leistung L versteht man die in der Zeiteinheit geleistete Arbeit; sie wird in PS = 75 m kg/sec. gemessen. $L = Z \cdot v \frac{m \cdot kg}{sec.}$ stellt demnach die Zugleistung der Luftschrauben dar, die zur Erhaltung des stationären Reisefluges erforderlich ist. Die Motorenleistung ist um 50 % größer, da die Luftschrauben nur rund $^2/_3$ der Motorleistung in Zugleistung umsetzen.

Berechne die Zugleistung in geringer und in 2000 m Höhe!

d. Da Z = W, ist $L = W \cdot v = c_W \cdot f \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^3$.

Die Luftschrauben- und Motorleistung wachsen also mit der dritten Potenz der Fahrgeschwindigkeit. Wollte man diese verdoppeln, so würde das 8mal so starke Motoren erfordern. Triebe man das Luftschiff statt durch 5 Motoren von rund 2500 PS mit 5000 PS an, dann würde seine Geschwindigkeit nur um 25% zunehmen. Bei sämtlichen Fahrzeugen zu Lande, Wasser und in der Luft erfordert eine mäßige Geschwindigkeitserhöhung stets eine unverhältnismäßig starke Steigerung der Antriebsmaschine.

4. Verkehrsmittel und Luftwiderstand.

Bei jedem Transportmittel kommt es darauf an, die Last G durch eine möglichst kleine Kraft Z hinreichend schnell zu bewegen. Das Verhältnis $\frac{Z}{G}$ nennt man Reibungs- oder Gleitzahl ε. Je kleiner sie ist, desto besser vorausgesetzt, daß die Beförderungsgeschwindigkeit befriedigend ist. Da Z = W, ist $\varepsilon = \frac{W}{G}$. Verkleinerung der Bewegungswiderstände erhöht demnach die Wirtschaftlichkeit des Transportes. Bis zu Beginn unseres Jahrhunderts war die Technik darauf bedacht, lediglich Roll- und Reibungswiderstände zu verringern (Räder, Kugellager, Schmierung, Schienen, Gummireifen, glatte Straßen usw., siehe Zahlentafel 2).

Zahlentafel 2.	Gleitzahl ε bei	Geschwindigkeit v
	etwa	
Wagen auf Erdweg	$^1/_{15}$	8 km/Std.
Wagen auf Asphalt	$^1/_{100}$	12 „
Kraftwagen auf Steinpflaster	$^1/_{40}$	25 „
Eisenbahn	$^1/_{300}$	40 „
„	$^1/_{200}$	80 „
Schiff	$^1/_{300}$	20 „

Als gegen Ende des 19. Jahrhunderts die Fahrzeuge immer schneller wurden, machte sich der Luftwiderstand, der bei kleiner Geschwindigkeit gering ist, mehr und mehr bemerkbar, so daß die anderen Widerstände ihm gegenüber immer mehr zurücktraten. Man begann jetzt, den Fahrzeugen aerodynamisch günstige („windschnittige") Formen zu geben und konnte dadurch größere Schnelligkeit erzielen.

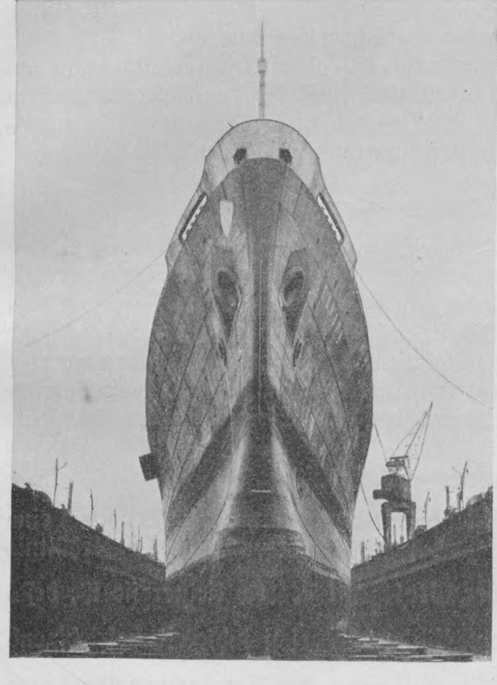


Abb. 29. Der Bug der „Europa"

Man vergleiche z. B. die Umrißformen eines alten und eines modernen Kraftwagens mit seinen abgerundeten Ecken und Kanten. Rennwagen, mit denen auf der Avus und dem Nürburgring Rekorde gefahren werden, nähern sich der Stromlinienform. Bei den Schnelltriebwagen der Deutschen Reichsbahn, deren Reisegeschwindigkeit 160 km/Std. und mehr beträgt, dienen $^7/_8$ der Antriebskraft zur Überwindung des Luftwiderstandes.

Auch der Schiffsbau ist bemüht, Schiffsformen von kleinem Widerstand zu finden. Die Schiffsbau-Versuchsanstalt in Hamburg schleppt maßstäblich verkleinerte Modelle geplanter Neubauten durch einen langen Wasserkanal, mißt die Kräfte und macht den Werften Verbesserungsvorschläge. Oberbauten und Schornsteine macht man möglichst stromlinienförmig. Der scharfe Bug ist für einen kleinen Oberflächenwiderstand günstig; die Wellenbildung ist geringer als bei anderer Bugform. Er läuft bei neueren Schiffen vielfach unter Wasser in eine tropfenförmige „Birnennase" (Abb. 29) aus.

5. Der schädliche Widerstand des Flugzeugs.

Beim Flugzeug unterscheidet man zwischen dem Widerstand des Tragflügels — er ist unvermeidlich, da das Flugzeug ohne Flügel nicht fliegen kann — und dem des Restflugzeugs, den man auch „schädlichen Widerstand" nennt. Der Gesamtwiderstand W setzt sich zusammen aus dem Tragflügelwiderstand W_t und dem schädlichen Widerstand W_s.

Man macht W so klein wie irgend möglich, um hohe Fluggeschwindigkeit zu erzielen. Das Ideal ist das von Junkers vorgeschlagene Nurflügel-Flugzeug. Sein schädlicher Widerstand wäre sehr klein, da sämtliche Teile im Flügel untergebracht wären.



Abb. 30.
Eindecker von Hans Grade
1909.

Die alte Maschine (Abb. 30) ist mit den zahlreichen im Luftstrom liegenden Teilen aerodynamisch sehr ungünstig. Darunter sehen wir das neuzeitliche, schnelle, viersitzige Reiseflugzeug, das die Bayerischen Flug-

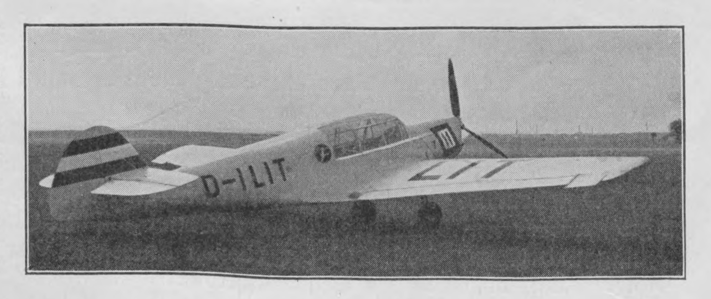


Abb. 31. B.F.W. Me 108. Luftgekühlter Hirth-Motor mit 8 Zylindern von 250 PS Höchstleistung. Fluggewicht 1050 kg. Flügelfläche 16 qm. Spannweite 10,3 m. Höchstgeschwindigkeit 300 km/Std. Landegeschwindigkeit 60 km/Std. Gipfelhöhe 5500 m.

zeugwerke A.-G., Augsburg (Erbauer Messerschmitt) für den Europa-Rundflug 1934 aus Duralumin hergestellt haben (Abb. 31). Den freitragenden Flügeln geben im Innern liegende Bauteile (nicht Streben

und Spanndrähte außen) die Festigkeit. Der Motor ist stromlinig verkleidet. Alle Nieten sind versenkt, so daß die ganze Oberfläche vollkommen glatt ist. Das Fahrwerk wird nach dem Start mittels Kurbel in die Flügel versenkt; auch der fliegende Vogel läßt die Beine nicht frei herabhängen. Ein akustisches und optisches Warnsignal, das bei Leerlaufstellung der Gasdrossel ausgelöst wird, erinnert den Führer daran, das Fahrgestell vor der Landung auszufahren.

Die schädliche Fläche eines englischen Rennflugzeugs mit 1000 PS-Motor und zwei Schwimmern ist nicht größer als ein Quadrat von 60 cm Seitenlänge, das senkrecht zur Fläche angeblasen wird!

Den Widerstand eines Flugzeugs kann man als Summe der Widerstände der Einzelteile berechnen. Man kann auch im Windkanal den Widerstand eines verkleinerten Modells messen. Als Durchschnittswerte der Einzelwiderstände können folgende Angaben gelten: Flügel 50 %, Rumpf 16%, Leitwerk 12,5%, Fahrwerk und Kühler je 7,5%, Verstrebung 4%, Verschiedenes 2,5%. Etwa die Hälfte des Gesamtwiderstandes ist also schädlicher Widerstand.

III. Die Luftkräfte am Flügel.

1. Nachweis der Luftkraft.

Eine Scheibe, die wir senkrecht oder parallel zu ihrer Fläche anblasen, wird in der Anblasrichtung nach rückwärts gedrückt. Steht sie aber schief, ist sie wie der Drachen zum Winde „angestellt“, dann wird sie schräg nach oben getrieben.

Die Flügel unseres Flugzeugs sind angestellte Drachenflächen, an denen beim Fluge die schräg aufwärts gerichtete Luftkraft entsteht. Ihre Vertikalkomponente, der Auftrieb, trägt das Flugzeug. O. Lilienthal fand bei seinen Gleitflügen, daß gewölbte Flächen besser tragen als ebene.

Versuch: Wir entfernen die rechte Postkarte (Abb. 9,1) und blasen die linke von oben an. Sie weicht nach rechts aus, d. h. nach oben, denn die gewölbte Seite des Flugzeugflügels ist die Oberseite.

Verkleiden wir unsere Fläche stromlinig, dann bekommt sie die Form eines Tragflügels. Abbildung 32 zeigt 2 Flügelschnitte oder Profile. Der Schnitt ist von der Nase zur Hinterkante längs der Tiefe t durch den Flügel gelegt. Die Spannweite ist der Abstand vom Rande des linken bis zu dem des rechten Flügels. Oft wird die Tiefe nach dem Rumpf zu größer. Der Anstellwinkel α ist der Winkel zwischen Anblas- (Flug-) richtung und Sehne S K oder der ebenen Unterseite. Er ist negativ, wenn die Luft oberhalb der Sehne anströmt.

Wir weisen an einem Modellflügel den Auftrieb nach.

Versuch: Wir befestigen ihn an der Briefwaage und blasen ihn mit Fön oder Windkanal an. Der Befund ist folgender: Der Auf-

trieb des Flügels ist bei kleinem α gering, nimmt mit wachsendem α zu und bei großem α wieder ab. Auch bei sehr kleinem negativem α ist noch etwas Auftrieb da. Bei größerem negativem α wird das Modell nach unten gedrückt, statt Auftrieb entsteht Abtrieb. Bei $\alpha = 10^0$ ist A etwa 3 g.

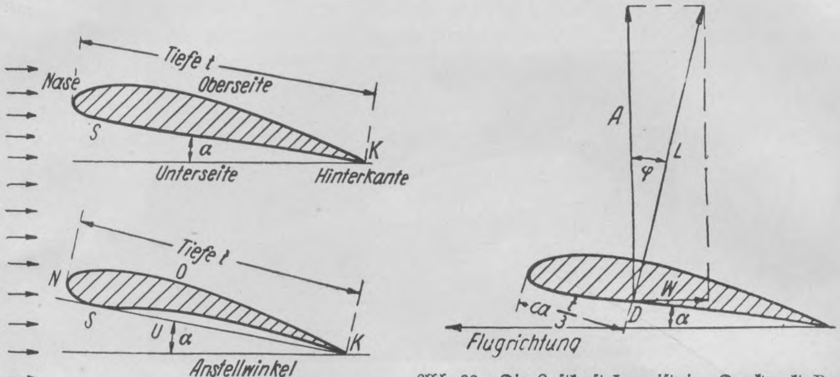


Abb. 32. Tragflächenprofile oder Flügelschnitte, oben das Göttinger Profil 398.

Abb. 33. Die Luftkraft L greift im Druckpunkt D an. Ihre Komponenten sind Auftrieb A und Tragflächenwiderstand W_t, erstere steht senkrecht zur Flug-(Anblas-)Richtung.

Berechne daraus den Auftrieb in kg auf 1 qm Flügelfläche! Tiefe t = 3,5 cm. Breite des Luftstroms etwa 2,5 cm.

Versuch: Wie ändert sich der Tragflächen-Widerstand W_t mit α? Für $\alpha = 10^0$ finden wir etwa 0,5 g.

Wir stellen Auftrieb und Widerstand durch Pfeile (Vektoren) dar (Abb. 33). Sie greifen im Druckpunkt D an; er liegt durchweg um t/3 hinter der Nase. Das Verhältnis W/A ist die Gleitzahl ε des Profils, sie ist ein Maß für seine Güte. Für unsern Modellflügel ist ε etwa $\frac{0{,}5\,g}{3\,g} = \frac{1}{6}$. Eine kleine Gleitzahl, kleiner Widerstand bei größerem Auftrieb ist günstig. φ ist der Gleitwinkel; tg φ = W/A = ε. Je kleiner ε, desto kleiner auch φ. Die Resultante von A und W ist die Luftkraft L.

2. Wie entsteht die Luftkraft?

Versuch: Wir strömen in unserem Wasserkanal ein Flügelprofil unter kleinem Anstellwinkel an und beobachten das Strömungsbild (Abb. 34). Vor der Nase am Staupunkt teilt sich das Wasser. Auf der Oberseite, namentlich dicht hinter der Vorderkante, drängen sich die Stromlinien zusammen und zeigen, daß die Geschwindigkeit hier größer ist als in der „ungestörten" Strömung. (Wenn wir den Flügel aus der Strömung entfernen, ist sie ungestört.) Hier muß demnach Unterdruck bestehen. Unten sind die Linien parallel und etwas

nach abwärts abgelenkt. Beide Strömungen schließen sich an der Hinterkante wirbellos zusammen.

Versuch: Wir weisen an den Meßöffnungen A und B (Abb. 35) den statischen Unterdruck nach. Bei A wird er mit wachsendem α größer

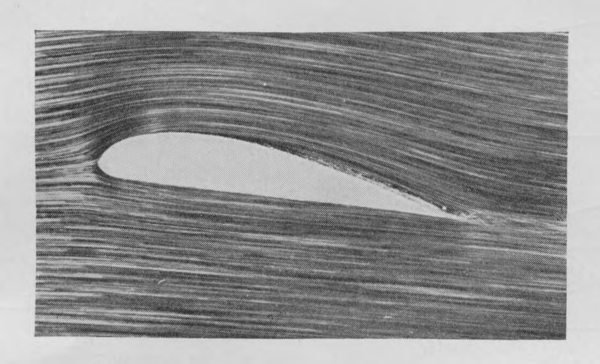


Abb. 34. Gesunde Flügelströmung.
(Aus Prandtl, Abriß der Strömungslehre, Verlag Fr. Vieweg & Sohn A.-G., Braunschweig.)

und bei sehr großem α plötzlich ganz klein. Bei B ist er kleiner als bei A, zeigt den gleichen Gang mit α, sinkt aber bei wesentlich kleinerem α plötzlich ab. Die Ergebnisse stimmen mit der Untersuchung des Auftriebs mittels Briefwaage überein.

Versuch: Auf der Unterseite nehmen wir bei kleinem Anstellwinkel einen geringen Überdruck wahr. Daraus folgt, daß hier die Geschwindigkeit im Vergleich zur ungestörten Strömung etwas kleiner ist.

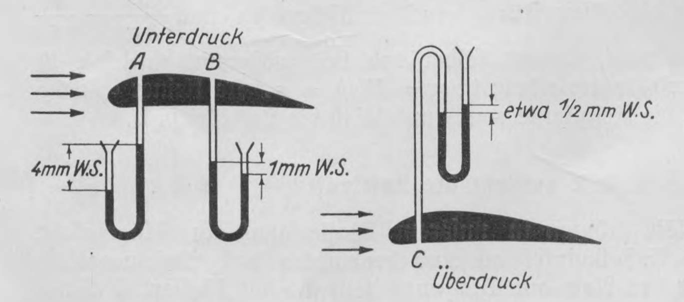


Abb. 35/36. Der statische Druck auf Saug- und Druckseite des Flügels.

Damit ist die Herkunft der Luftkraft am Flügel geklärt: An der Flügeloberseite fließt die Luft schneller als in der ungestörten Strömung; daher entsteht hier Sog. An der Unterseite ist dagegen die Strömung etwas langsamer, die

Folge ist mäßiger Überdruck. Beide wirken in gleicher Richtung und ergeben die schräg nach oben gerichtete Luftkraft.

Bei α = etwa 10° zeigt das U-Rohr an der Meßdüse A einen Unterdruck von 4 mm W. s. an, das sind 4 kg/qm. Wenn wir die Annahme machen, daß dieser Druck überall an der ganzen Oberfläche des Tragflügels in gleicher Stärke vorhanden ist, dann könnte jedes Quadratmeter Flügelfläche 4 kg des Flugzeuggewichtes tragen bei einer Anblasgeschwindigkeit von 12 m/sec. 4 kg/qm nennt man die Flächenbelastung des Flugzeugs.

3. Die Verteilung der Luftkräfte über die Profiltiefe.

Abbildung 37/38 zeigt nach Windkanalmessungen, wie sich die Luftkräfte über das Profil verteilen. An die Meßdüsen 0 bis 17 ist je ein Druckmesser angeschlossen. Die Ausschläge sind als Ordinaten über der Tiefe aufgetragen und zwar der Unterdruck an den oberen Düsen

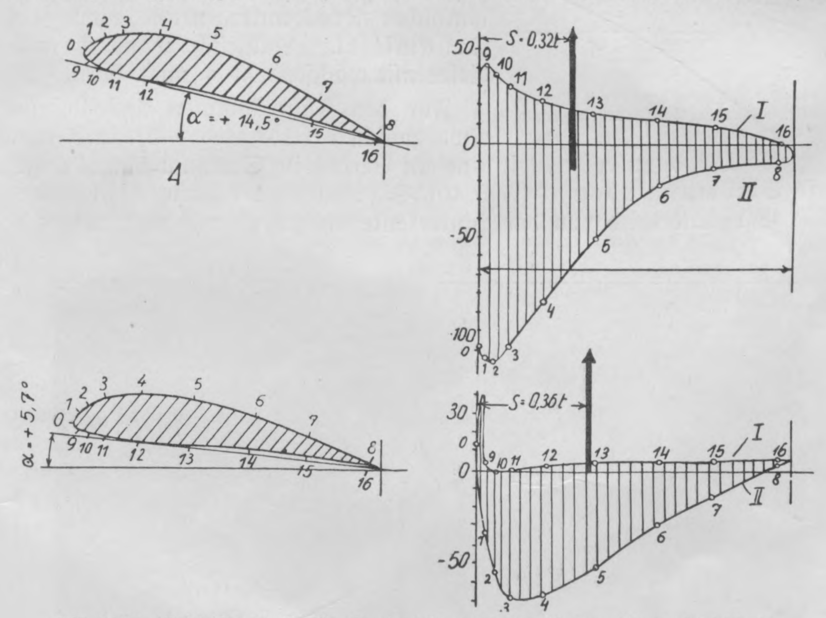


Abb. 37/38. Luftkräfte am Profil. Druckverteilung von der Vorder- bis zur Hinterkante. Kurve I (oben) stellt den Überdruck auf der Unterseite, Kurve II (unten) den Unterdruck auf der Oberseite dar.

0 bis 8 nach unten; die obere Kurve zeigt also den Überdruck unten. Der dicke Pfeil stellt die resultierende Luftkraft dar. In Übereinstimmung mit unsern Versuchen zeigen die Kurven: 1. Die Luftkraft nimmt mit wachsendem α zu. 2. Der Luftkraftanteil der Saugseite ist wesentlich größer als der der Druckseite; die Oberseite ist demnach für die Auftriebserzeugung wichtiger. 3. Der Druckpunkt liegt bei α = 14,5° etwas weiter nach vorn als bei 5,7°.

Die Luftkräfte sind an der ganzen Flügeloberfläche wirksam; sie werden von der Flügelhaut an die Rippen (Spieren) und von diesen an die Holme weitergeleitet. Diese sind zu beiden Seiten des Rumpfes befestigt und manchmal durch Streben und Drähte mit ihm verbunden (verstrebte bzw. verspannte Flugzeuge). Ist der Flügel mit Stoff bespannt, dann muß dieser oben befestigt werden. Sonst heben die Saugkräfte ihn ab.

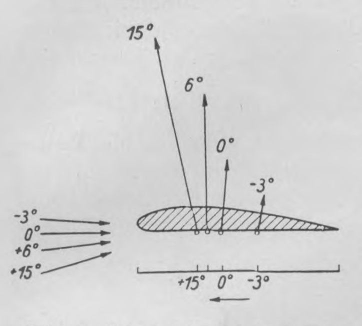


Abb. 39. Bei zunehmendem Anstellwinkel wandert der Druckpunkt nach vorn.

Abbildung 39 zeigt, wie der Druckpunkt von der Hinterkante nach vorn wandert, wenn der Anstellwinkel von -3^0 bis $+15^0$ zunimmt.

Wir denken uns den Flugzeugflügel aus einer großen Zahl schmaler Profile zusammengesetzt. Die Verbindungslinie sämtlicher Druckpunkte nennt man sein Druckmittel. Natürlich wandert auch dieses mit wachsendem α nach vorn.

Für den Flug kommen Anstellwinkel etwa zwischen $+15^0$ und -5^0 in Frage. Ist $\alpha > 15^0$, dann reißt, wie uns ein Versuch im Strömungskanal zeigt, die Strömung oben ab (Abb. 40). Sie bleibt in der Grenzschicht stecken. Die Saugseite wird von der Hinterkante ausgehend mit wachsendem α

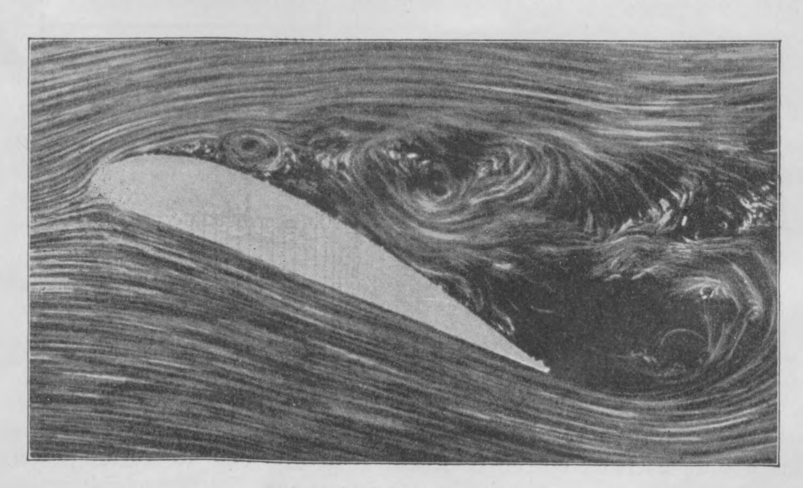


Abb. 40. Abgerissene Flügelströmung.
(Aus Prandtl, Abriß der Strömungslehre, Verlag Fr. Vieweg & Sohn A.-G., Braunschweig.)

immer mehr verwirbelt. Vergleiche damit die Ergebnisse der Versuche von Seite 23/24! Fast die ganze Oberseitenströmung ist gestört und liegt nicht mehr an; der Auftrieb sinkt, und der Widerstand steigt.

Ermittle aus den Druckverteilungskurven (Abb. 37/38), wie sich das Druckgefälle zwischen den Düsen 3 und 7 nach Richtung und Größe mit wachsendem α ändert! Erkläre das Steckenbleiben in der Grenzschicht bei Winkeln über 15°!

Versuch: Ein Wollfaden macht die Wirbel in der abgerissenen Oberseitenströmung unseres Modellflügels sichtbar.

Bei größerem negativem α reißt die Strömung unten ab.

4. Formeln für Auftrieb und Widerstand.

Die Formeln für Auftrieb und Widerstand lauten:

$$\left.\begin{aligned} A &= c_a \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2 \cdot F = c_a \cdot q \cdot F \\ W_t &= c_w \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2 \cdot F = c_w \cdot q \cdot F \end{aligned}\right\} \text{(Einheit kg)}$$

$$\varepsilon = \frac{W_t}{A} = \frac{c_w}{c_a} \text{ (reine Zahl).}$$

F bedeutet nicht die Stirnfläche (f) des Flügels, sondern seine Grundfläche. Da sie leicht meßbar ist (bei rechteckigem Flügel $F = b.t$), ist es praktischer, die Größe der Kräfte in bezug auf diese Fläche anzugeben. (Wenn man f statt F zugrunde legte, würde man andere Beizahlen erhalten.) Beim Doppeldecker ist F die Summe der oberen und unteren Flügelflächen. In Auftriebs- und Widerstandsbeizahl c_a und c_w faßt man den Einfluß von Profilgestalt und Anstellwinkel zusammen. ρ ist die Luftdichte, v die Anblasgeschwindigkeit und q der Staudruck $\left(\text{in } \frac{kg}{qm}\right)$.

Die aerodynamischen Versuchsanstalten haben für eine große Anzahl verschiedenster Profile die Beizahlen bestimmt. Man mißt im Windkanal an maßstäblich verkleinerten Modellen A, W, v und F bei Anstellwinkeln etwa zwischen —8° und 20° und berechnet mit Hilfe der Formeln die Beizahlen. Aus den Zahlentafeln und Kurven (Polardiagrammen) kann sich der Konstrukteur das ihm passende Profil aussuchen.

5. Die Polare.

Das Polardiagramm des Göttinger Profils 387 zeigt Abbildung 41. Auf der Horizontalen ist $C_w = 100\, c_w$ und als Ordinate $C_a = 100\, c_a$ aufgetragen. Die Einheit der ersteren ist 5mal so groß wie die der letzteren. Die Kurve $C_a = f\,(C_w)$ heißt Polare. Die Anstellwinkel sind jeweils neben die Kurvenpunkte geschrieben.

Die Kurve zeigt, wieviel Auftrieb und Widerstand das Profil bei den verschiedenen Anstellwinkeln hat und bei welchem α die Strömung oben und unten abreißt. Der Kundige kann ihr alles Wissenswerte über seine Flugleistungen entnehmen und daraus die Kräfte am naturgroßen Flügel berechnen.

Stelle C_a und C_w graphisch als f (α) dar! Bei welchen α-Werten liegen die Höchst- und Kleinstwerte?

Wir führen einige Rechnungen durch für das Göttinger Profil 387. Der Tragflügel, der dieses Profil hat, soll unter dem Anstellwinkel $\alpha = -1{,}6^0$ angeblasen werden. Wir lesen am Polardiagramm (Abb. 41) ab, daß $C_a = 38$ und $C_w = 2{,}4$ ist.

a) Wir berechnen zunächst (abgerundet) den Auftrieb von 1 qm Flügelfläche bei einer Anblasgeschwindigkeit v = 50 m/sec. = 180 km/Std.

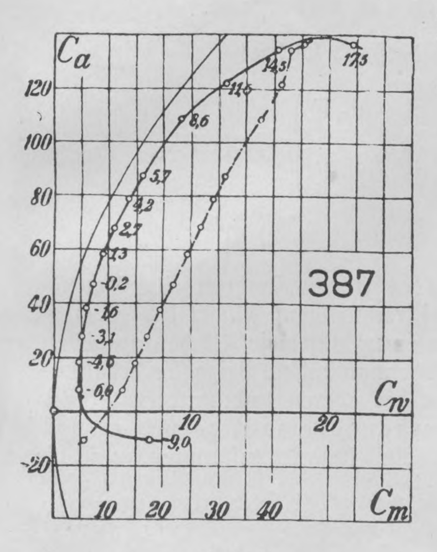


Abb. 41.
Polardiagramm des Göttinger Profils 387.

Zahlentafel 3. Profil Nr. 428.

α	C_a	C_w
—8,9⁰	—32	8,0
—6,0⁰	—8,9	3
—4,5⁰	1,1	1,5
—3,0⁰	10	1,2
—1,6⁰	21	1,3
—0,1⁰	30	1,6
+1,3⁰	40	1,8
+2,8⁰	51	2,5
+4,3⁰	61	3,3
+5,7⁰	70	4,2
+8,7⁰	88	6,6
+11,6⁰	100	9,4
+13,0⁰	99	14

Abb. 42. Zeichne mit Hilfe der Beizahlen des Göttinger Profils 428 seine Polare!

Der Staudruck $q = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{8} \cdot 50^2 = 156$ kg/qm, $A = 0{,}38 \cdot 156 = 60$ kg/qm. Ein Flügel von 20 qm Fläche erzeugt einen Auftrieb von 1200 kg. Er kann beim Waagerechtflug 1200 kg tragen, das ist das Fluggewicht. Die Flächenbelastung $\frac{G}{F} = 60$ kg/qm.

b) Der Widerstand des Flügels W_t ist $0{,}024 \cdot 156 \cdot 20 = 75$ kg. Da der schädliche Widerstand des Restflugzeugs etwa ebensogroß ist, beträgt sein Gesamtwiderstand W 150 kg. Wenn das Flugzeug in gleicher Höhe geradeaus fliegt (Reiseflug), ist der Schraubenzug Z ebensogroß wie der Widerstand. Z = 150 kg.

c) Die Gleitzahl des Flügels ist $\varepsilon = \frac{2{,}4}{38} = \frac{75}{1200} = \frac{1}{16}$, die des Flugzeugs ist ungünstiger: $\varepsilon = \frac{150}{1200} = \frac{1}{8}$.

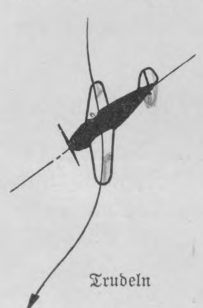
d) Für den Waagerechtflug beträgt die erforderliche Luftschrauben-leistung $L = Z \cdot v = 150 \cdot 50 \frac{kg \cdot m}{sec.} = \frac{150 \cdot 50}{75} = 100$ PS.

Da der Schraubenwirkungsgrad rund $^2/_3$ ist, liegt die Motorleistung 50 % höher, beträgt also 150 PS. Tatsächlich muß der Motor stärker sein, da der Leistungsbedarf beim Steigen (Starten) größer ist als beim Waagerechtflug. Es ist ja dann zusätzliche Hubarbeit zu leisten.

f) Kann unser Flugzeug (G = 1200 kg) mit v = 50 m/sec. in 4000 m Höhe über dem Meere fliegen? $\alpha = -1{,}6^0$ $\rho = 0{,}08$. Berechne A! Offenbar muß es in der dünneren Luft schneller fliegen, damit der Tragflügel den Auftrieb von 1200 kg erzeugt. Berechne die erforderliche Geschwindigkeit!

Die Flügel sind fest am Rumpf angebracht; ihre Sehne bildet mit der Längsachse den **Einstellwinkel**; er sei $-1{,}6^0$. Wenn wir (beim Reiseflug) in Richtung der Längsachse fliegen, sind **Anstell-** und **Einstell**winkel gleich. Wird die Flugzeugnase durch das Höhenruder gehoben („gezogen") oder gesenkt („gedrückt"), dann ist der erstere größer bzw. kleiner als der letztere.

Mit wachsendem α steigen C_a und C_w. Der Flügel trägt besser, hat aber größeren Widerstand. Beim Steigflug fliegt man mit größerem α. Man gibt mehr Gas, damit der Motor die Hubleistung aufbringt.



Trudeln

Bei etwa 16^0 ist der Höchstauftrieb erreicht. C_a wird dann bald wieder kleiner, weil die Strömung oben abreißt. Wegen Verwirbelung der Saugseite nimmt der Widerstand schnell zu, so daß die Maschine langsamer wird und weniger tragen kann. Sie ist „überzogen" und sackt durch. Ältere Flugzeuge kamen hierbei leicht ins Trudeln und waren oft nicht wieder in die normale Fluglage zu bringen, so daß ein Unglück die Folge war. Neuzeitliche Maschinen lassen sich, falls sie in genügender Höhe über dem Erdboden fliegen und somit hinreichend Zeit zur Verfügung steht, durch Ruderbetätigung aus dem Trudeln herausbringen, sonst werden sie nicht zugelassen. Die **Prüfstelle für Luftfahrzeuge** des Reichsluftfahrtministeriums, deren Vorschriften in Deutschland bei dem Bau von Motorflugzeugen erfüllt werden müssen, unterzieht nämlich jeden Neubau einer Prüfung. Erst nach Feststellung seiner Lufttüchtigkeit darf er geflogen werden.

Je nach Flügelschnitt sind die Flugleistungen des Tragflügels verschieden. Starke Wölbung erhöht Auftrieb und Widerstand. Das dünne, schwach gewölbte Profil Göttingen 428 (Abb. 42 u. Zahlentafel 3) hat kleinen Mindestwiderstand und Höchstauftrieb. Es ist für schnelle Maschinen geeignet. Zeichne seine Polare und stelle dieselben Rechnungen wie oben an!

Es gibt auch druckpunktfeste Profile; sie sind symmetrisch oder an der Hinterkante aufwärts gebogen. Erstere werden vorwiegend als Leitwerk

verwendet. In Richtung der Mittellinie angeblasen ($\alpha = 0$) haben sie nur Widerstand ähnlich wie unsere achsensymmetrischen Widerstandskörper. Auch diese letzteren erzeugen Auftrieb, wenn sie unter von Null verschiedenem α angeblasen werden.

6. Bedeutung der Gleitzahl.

$\varepsilon = \frac{W}{A} = \frac{Wt + Ws}{A} = \frac{Z}{G}$. Die Gleitzahl ist von α abhängig und hat einen Bestwert. Dieser ist gemeint, wenn man von der Gleitzahl schlechthin spricht. Er liegt bei Motorflugzeugen durchweg zwischen $^1/_8$ und $^1/_{10}$, d. h., dieser Bruchteil des Fluggewichts G wird als Zugkraft benötigt. Beim Vergleich mit Land- und Wasserfahrzeugen schneidet das Flugzeug schlecht ab. Sein Kraftbedarf ist sehr hoch, dafür übertrifft es die anderen beträchtlich an Schnelligkeit.

Da der Motor nicht nur den Vor-, sondern auch den Auftrieb erzeugen muß, ist der große Leistungsbedarf unseres jüngsten Beförderungsmittels verständlich. Für Do X betrug er bei einem Fluggewicht von 56000 kg 6700 PS. Das ist die Leistung von etwa 4 D-Zuglokomotiven. Sie wird aufgewandt, um etwa 90 Personen mit fast 200 km/Std. durch die Luft zu befördern. Auf 1 Person kommen $\frac{6700}{90} = 75$ PS, auf 1 kg „zahlende", d. h. Nutzlast 1 PS. Das ist ungefähr dasselbe, als wenn man vor einen Puppenwagen zwei starke Pferde spannt!

$\frac{G}{L} = \frac{56000 \text{ kg}}{6700 \text{ PS}} = \text{rund } 8 \frac{\text{kg}}{\text{PS}}$ nennt man die **Leistungsbelastung** des Do X; auf 1 PS Motorleistung kommen 8 kg Fluggewicht. Sie liegt für neuzeitliche Maschinen zwischen 4 und 10 kg/PS, die des D-Zugs ist rund 60 mal so groß, also viel günstiger. Berechne für die abgebildeten Flugzeuge Flächenbelastung und Leistungsbelastung!

7. Flügelstreckung und Randwiderstand.

Albatros, Möwe und Schwalbe sind vorzügliche Flieger. Sie haben lange und schmale Schwingen im Gegensatz zu den breiten und kurzen der schlechten Flieger (Huhn). Auch für das Flugzeug sind schmale, lange Tragflügel günstiger als solche von geringer Spannweite b und großer Tiefe t.

Bei einem rechteckigen Flügel versteht man unter der Flügelstreckung s das Verhältnis von Spannweite b zur Flügeltiefe t.

$$s = \frac{b}{t} \text{ od. } s = \frac{b^2}{b \cdot t} = \frac{b^2}{F}.$$

Diese Gleichung gilt auch für Flügel von **anderem** als rechteckigem Grundriß. Wenn man also das **Quadrat der Spannweite durch die Flügelfläche F teilt, bekommt man seine Streckung.** Ein

rechteckiger Flügelumriß ist nicht der beste; aerodynamisch günstiger ist z. B. eine langgestreckte Ellipse.

Warum sind schlanke Flügel günstiger?

Versuch: Wir bringen den Rand unseres Modellflügels in die Achse des Luftstroms. Beim Anblasen wirbelt ein Wollfaden an der Hinterkante des Randes kräftig herum. An den Rändern treten Randwirbel auf; sie bedingen den sogenannten Randwiderstand des Flügels. Drehsinn der beiden Wirbel? Mit wachsendem α werden die Wirbel kräftiger. Bei negativem α kehrt sich der Drehsinn um.

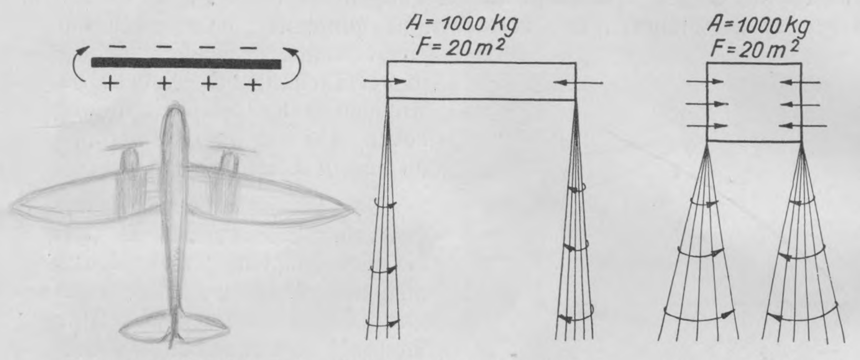


Abb. 43. Die Luft strömt um die Ränder herum nach oben.

Abb. 44. Wegen der Trägheit der Luft entstehen hinten die beiden Randwirbel.

Abb. 45. Je länger der Rand, desto stärker die Randwirbel.

Zur Deutung des Befundes betrachten wir den Tragflügel (Abb. 43). Der Druckunterschied von etwa 4 mm W.S. zwischen Unter- und Oberseite, den die Vorzeichen andeuten, gleicht sich um die äußeren Ränder herum durch eine Strömung im Sinne der Pfeile aus. Wegen der Trägheit der Luft bleibt sie hinter dem Tragflügel (Abb. 44) erhalten, so daß hier die Randwirbel entstehen.

Wie erklärt sich die Verstärkung der Wirbel bei wachsendem α und die Umkehrung ihres Drehsinnes bei größerem negativem α?

Die Randwirbel des Flügels von großer Tiefe (Abb. 45) sind kräftiger als die des schlanken, weil das Andrehen der Wirbel auf einer viel längeren Strecke erfolgt. Beide Flügel sollen den gleichen Auftrieb erzeugen. Aber der Widerstand W_t des schlanken ist wegen seines geringeren Randwiderstandes kleiner, ebenfalls seine Gleitzahl. Der Unterschied beider macht sich namentlich bei größeren Anstellwinkeln bemerkbar.

In den aerodynamischen Versuchsanstalten werden die Polaren meistens an Modellen von der Streckung 5 gemessen. Man kann sie auf jede andere Streckung umrechnen.

Die Flügelstreckung der Segelflugzeuge liegt zwischen 15 und 25. Da sie leicht sind und ihre Flächenbelastung klein ist, kann man ihnen lange

und schmale Flügel geben. Für die schweren Motorflugzeuge, bei denen G/F durchweg zwischen 40 und 90 kg/qm liegt, begnügt man sich mit Streckungen zwischen 6 und 8.

8. Die Luftschraube.

Die gleiche Kraft, die als Auftrieb am Tragflügel das Flugzeug trägt, ist an den Blättern der Luftschraube wirksam, um es durch die Luft zu schleppen. Luftschraubenblätter sind umlaufende Tragflügel (Abbildung 46). An dem Modell erkennen wir zwei verwundene Flächen mit aufgesetzten Profilen. (Wir fassen ein Blatt Papier an den beiden kurzen Rändern und verdrehen sie windschief; dann sehen wir eine verwundene Fläche). Welches ist bei Drehung des Modells die Anblasrichtung? Welche Richtung haben Auftrieb und Widerstand an beiden Blättern?

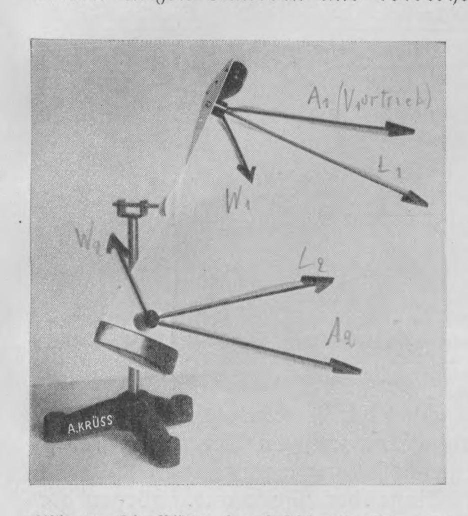


Abb. 46. Die Blätter der Luftschraube sind umlaufende Tragflügel. Die Auftriebskomponente der Luftkraft wirkt als Zug in Richtung der Flugzeuglängsachse.

Die Luftschraube wird aus Holz oder Leichtmetall mit zwei bis vier Flügeln hergestellt und meistens als Zug-, seltener als Druckschraube verwendet. Ihre Drehzahl liegt etwa bei 2000 Umdrehungen in der Minute. Ist die des Motors höher (bis 4000), dann wird er mit Untersetzungsgetriebe versehen.

Der Wirkungsgrad der Schraube liegt zwischen 60 und 80%, d. h. sie überträgt rund $^2/_3$ der Arbeit des Motors als Zugarbeit auf das Flugzeug. Von je 100 PS Motorleistung gehen also rund 33 PS verloren. Sie finden sich in der lebhaft bewegten Luft des rückwärtigen Schraubenstrahls. Für jede Schraube gibt es eine günstigste Drehzahl, bei der ihr Wirkungsgrad am größten ist, sie also am besten arbeitet.

Es gibt „Geschwindigkeits"- und „Steigschrauben". Erstere sind für schnelles Fliegen günstig; wenn das Flugzeug (etwa beim Start) schnell steigen soll, ist die zweite besser. Die gewöhnliche Luftschraube ist ein Kompromiß. Neuerdings hat man Luftschrauben gebaut, deren Blätter im Fluge verstellbar sind. Man kann ihnen diejenige Stellung geben, die für den betreffenden Flugzustand am günstigsten ist. Die Schraube arbeitet dann immer mit höchstem Wirkungsgrad. In den Vereinigten Staaten findet man heute kaum ein Flugzeug, das nicht mit ihr ausgerüstet ist. Auch in Deutschland hat man mit der Einführung begonnen.

9. Der Drachen.

Die Fläche des Drachens ist zum Winde geneigt. Die Saugkräfte der Oberseite und die Druckkräfte unten ergeben zusammen die Luftkraft L. Sie greift im Schwerpunkt S an, ebenso das Drachengewicht G und der schräg nach unten gerichtete Seilzug Z. Zeichne das Vektorendiagramm!

Versuch: Befestige als Drachenmodell eine kleine rechteckige Holzplatte auf der Briefwaage, blase sie an und stelle fest, wie sich Auftrieb und Widerstand mit dem Anstellwinkel ändern!

10. Der Rotor.

Der Flettnerrotor. Versuch: Wir bewickeln den leichten Pappzylinder (Abb. 47) mit Leinenband, befestigen das freie Ende an einem Stab und bewegen ihn mit einem Ruck waagerecht nach rechts. Der Zylinder fliegt, er steigt mehrere Meter schräg empor und fällt dann zu Boden. Was geschieht, wenn er sich im entgegengesetzten Sinne dreht?

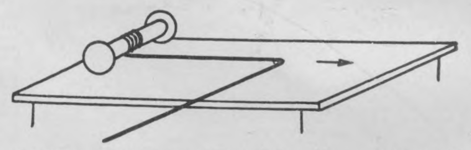


Abb. 47. Der leichte Pappzylinder fliegt, wenn er sich rotierend durch die Luft bewegt.

Abb. 48 zeigt das Strömungsbild um den „Rotor"; seine Umfangsgeschwindigkeit ist viermal so groß wie die Strömungsgeschwindigkeit

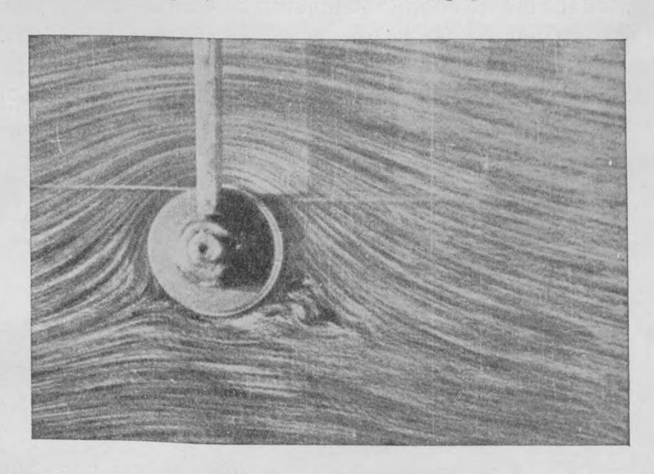


Abb. 48. Strömungsbild um den Rotor. (Aus Prandtl, Abriß der Strömungslehre, Verlag Fr. Vieweg & Sohn A.-G., Braunschweig).

des Wassers. Das ist besonders günstig. Welches ist die Anblasrichtung? Wie entsteht die Luftkraft? Ihre Richtung und ihre Komponenten?

Der schon seit längerer Zeit bekannte Rotor-Effekt ist von Flettner zum Schiffsantrieb verwendet worden.

IV. Die Drehmomente am Flugzeug.

1. Die Ruder.

Das Flugzeug ist nach allen Richtungen im Raume beweglich; es kann sich um 3 zueinander senkrechte Achsen, die sich im Schwerpunkt schneiden, drehen: 1. die Längsachse, die vom Bug zum Heck geht und beim Horizontalflug waagerecht liegt, 2. die Vertikal- oder Hochachse und 3. die Querachse von links nach rechts.

Um welche Achse dreht sich die Maschine jeweils bei Seiten-, Höhen- und Querruderausschlag?

Das Höhen- (und Seiten-) Leitwerk, das aus Flosse und Ruder besteht, ist ein symmetrisches Profil. Wenn der Führer den Knüppel von sich weg „drückt", schlägt D nach unten aus (Abb. 49). Es entsteht eine nach oben gerichtete Luftkraft (siehe den Pfeil). Diese übt ein links drehendes Moment um den Schwerpunkt aus; der Arm ist das Lot von Schwerpunkt auf die Pfeilrichtung. Die Flugzeugnase senkt sich, und der Flug geht schräg abwärts. Der Führer „drückt" die Maschine gleichsam zur Erde. Was geschieht beim Ziehen? Siehe Abb. 51 oben.

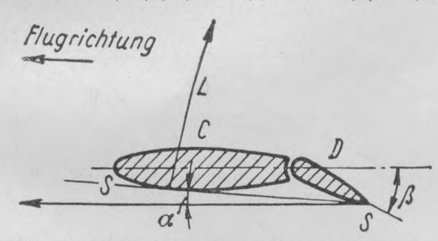


Abb. 49. Höhenflosse und (gedrücktes) Höhenruder D.

Das Höhenruder gibt die Möglichkeit, den Anstellwinkel zu ändern. Wird ein Motorboot hinten belastet, dann richtet es sich vorn auf und fährt nicht mehr in Richtung seiner Längsachse, sondern mit „positivem Anstellwinkel". Das durch Höhenruderausschlag erzeugte Moment hebt oder senkt die Nase des Flugzeugs, so daß seine Längsachse nach oben oder unten von der Flugrichtung abweicht und der Anstellwinkel größer oder kleiner als der Einstellwinkel ist. Wie wirkt das Seitenruder? (Abb. 50).

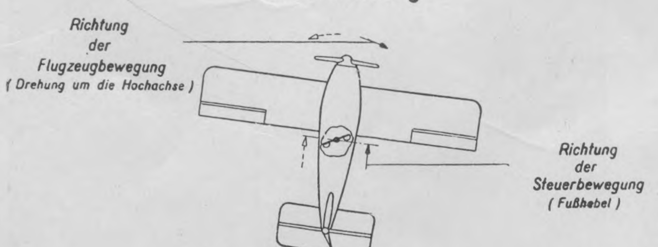


Abb. 50.
Das Seitenruder.

Auch die Querruder werden durch den Knüppel betätigt. Wird er nach rechts geneigt (siehe Abb. 51 unten), dann schlägt das linke Querruder nach unten, das rechte nach oben. Wölbung und Anstellwinkel des linken Flügels werden größer; der vermehrte Auftrieb hebt den linken



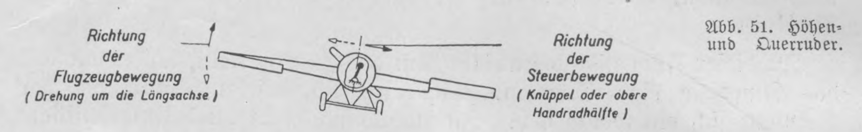


Abb. 51. Höhen- und Querruder.

Flügel. Rechts ist es umgekehrt. Mit dem Querruder verhindert man unerwünschte Drehungen um die Längsachse und legt die Maschine in die Kurve.

2. Die Flossen.

Im Waagerechtflug wirken drei Kräfte auf das Flugzeug: 1. sein Gewicht G, 2. der Schraubenzug Z in Richtung der Längsachse und 3. die Luftkraft L. Wenn alle drei, wie wir bisher stillschweigend angenommen

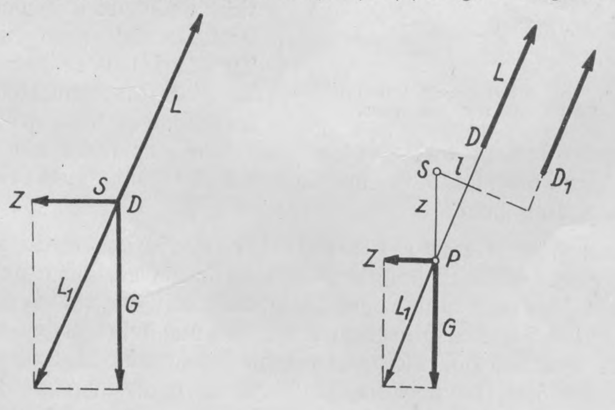


Abb. 52. Die Luftkraft L ist entgegengesetzt der Resultante L_1 von G und Z.

Abb. 53. Auch die Momentensumme muß 0 sein.

haben, im Schwerpunkt angreifen (Abb. 52), heben sie sich auf, wenn $L = L_1$ oder $L - L_1 = O$, ($Z = W$ und $A = G$) ist. Die Kräfte- (Vektoren-) summe muß 0 sein.

In Wirklichkeit geht das Druckmittel (D) nicht durch den Schwerpunkt S. Man sorgt allerdings durch richtige Verteilung der Gewichte dafür, daß S um etwa ein Drittel der Flügeltiefe hinter der Vorderkante, also nahe dem Druckmittel liegt.

Die Wirkungs- oder Angriffslinien G, Z und L zeigt Abbildung 53. L hat von S den Abstand l und übt ein linksdrehendes Moment $M_1 = l \cdot L$, Z ein rechtsdrehendes $M_2 = z \cdot Z$ aus. Das Flugzeug behält seine Lage, führt keine Drehung um die Querachse aus, wenn $M_1 = M_2$ oder $M_1 - M_2 = 0$ ist. *Diese Bedingung ist erfüllt, wenn die drei Angriffslinien sich in einem Punkte P schneiden.* Liegt z. B. L etwas weiter rechts etwa in D_1, dann ist die Momentensumme *nicht* 0, und es findet eine Drehung statt. Der stationäre Waagerechtflug bleibt demnach erhalten, wenn *sowohl Vektoren- wie Momentensumme Null ist.*

Ist dieser Flugzustand *stabil*? Um das zu ermitteln, lassen wir auf das Flugzeug eine Störung, etwa eine Bö, wirken, durch die der Schwanz sich ein wenig hebt. In Abbildung 54 ist alles Unwesentliche fortgelassen. Oben sehen wir Tragflügel und Höhenleitwerk in normaler Fluglage. Beide werden unter dem Anstellwinkel 0 angeblasen. Wenn durch eine Störung die Längsachse um β nach unten gedreht wird, fliegt die Maschine infolge der Trägheit zunächst waagerecht weiter; die Anblasrichtung bleibt also waagerecht. Der Anstellwinkel wird negativ (—β). *Druckmittel* D *wandert* gegen die Hinterkante nach D_1. Das Luftkraftmoment wird größer (vgl. Abb. 53) und *fördert das Kippen*; die Maschine kippt also weiter. Der Gleichgewichtszustand ist demnach *labil*. Wie wirkt eine Störung, die den Bug hebt?

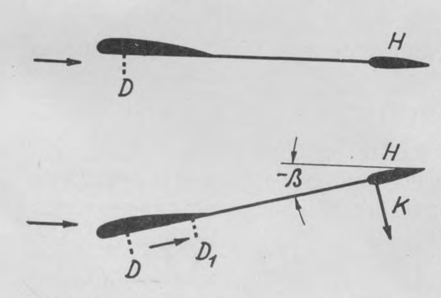


Abb. 54. Das Höhenleitwerk verhindert das Kippen nach vorn und hinten.

Das Höhenleitwerk macht *die Maschine stabil*, wirkt *stabilisierend*. Es wird nach der Störung schräg von oben angeblasen. Es entsteht die nach unten gerichtete Luftkraft K mit *rechtsdrehendem* Moment. Die Maschine richtet sich auf und kehrt in die normale Lage zurück. Hat das Höhenleitwerk richtige Größe und liegt es genügend weit nach rückwärts, dann ist unsere Maschine in bezug auf ihre Querachse *stabil*.

Wie wirkt das Höhenleitwerk bei Störung in entgegengesetztem Sinne? Zeichnung!

Ohne die stabilisierende Wirkung der Schwanzflosse ist ein Flug *nicht möglich*, da die *geringste* Störung, z. B. eine Bö oder eine

Verschiebung von S durch Bewegung eines Fluggastes die Maschine zum Kippen bringt. Die stabilisierende Schwanzflosse ist 1870 von dem Franzosen Pénaud erfunden und an einem Modell erprobt worden. Jedoch hatten seine Zeitgenossen kein Verständnis für die außerordentliche Bedeutung seiner Erfindung.

3. Die Lage des Schwerpunktes.

Die Lage des Schwerpunktes ist von großer Bedeutung für die Flugeigenschaften des Flugzeugs, während seine Flugleistungen durch Profil und Triebwerk bestimmt werden. Betriebsstoff, Bomben, Abwurfzettel usw. werden immer nahe S untergebracht. Sind die Momente (Abb. 53) nicht vollkommen ausgeglichen, dann ist die Maschine entweder „kopf- oder schwanzlastig". Der Führer kann sie durch dauerndes gelindes Ziehen bzw. Drücken in der richtigen Lage halten. Damit er nicht ermüdet, macht man häufig die Höhenflosse verstellbar (z. B. bei Me 108, Abb. 31) und gleicht vor oder während des Fluges die Falschlastigkeit aus.

Ein Tragflügel allein kann nicht fliegen, er ist unstabil. Trotzdem gibt es schwanzlose Maschinen. Ihre Flügel haben starke Pfeilstellung (Abb. 55)

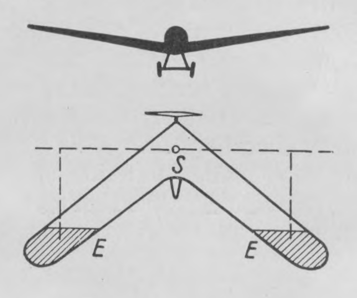


Abb. 55 oben: Die Flügel haben V-Stellung.
unten: Schwanzlose Maschine.

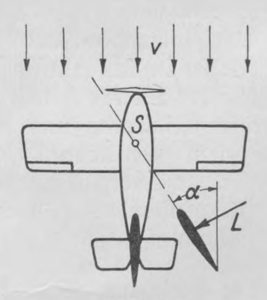


Abb. 56.
Das Seitenleitwerk sorgt für „Kursstabilität".

und sind verwunden. Die hinteren Enden EE werden beim Waagerechtflug unter dem Anstellwinkel O angeblasen. Bei einer Störung wirken sie wie die Höhenflosse stabilisierend.

Ungewollte Drehungen um die Längsachse werden durch die Querruder verhindert. V-förmige Tragflügel (Abb. 55 oben) erschweren solche Drehungen. Die Maschine wird querstabil. Modellflugzeuge sollen möglichst um alle Achsen eigenstabil sein.

Erkläre die Wirkung des Seitenleitwerks (Abb. 56)!

Ergebnis: Höhen- und Seitenleitwerk bringen das Flugzeug nach einer Störung wieder von selbst in die normale Fluglage.

V. Der Motorflug.

1. Start. Zum Abflug wird das Flugzeug mit der Nase gegen den Wind gestellt. Der Führer gibt Vollgas und drückt den Knüppel nach vorn. Die Maschine rollt mit steigender Geschwindigkeit; der Schwanz hebt sich. Das Höhenruder wird in Normalstellung gebracht. Nach kurzer Zeit hebt die Maschine sich vom Boden ab und steigt. Erkläre die Vorgänge! Warum startet man gegen den Wind?

2. Reiseflug. Zum Überlandflug wird das Flugzeug auf 600—800 m Höhe gebracht. Hier hat der Führer weite Sicht und wird nicht durch Bodenhindernisse gestört. Er fliegt mit kleinem Anstellwinkel und leicht gedrosseltem Motor nicht mit Höchst-, sondern mit Reisegeschwindigkeit. Die Kontrolle erfolgt durch den Drehzähler des Motors. Da ein neuzeitliches Flugzeug auch mit losgelassenem Steuer geradeaus fliegt, ist bei ruhiger Luft eine Betätigung der Steuer kaum nötig, so daß die Steuerung für den, der fliegen kann, bequemer ist als die eines Autos auf verkehrsreicher Straße. Bei böigem Wetter schaukelt die Maschine. Ein Böenstoß von vorn erhöht für kurze Zeit den Auftrieb. Die Maschine steigt. Die folgende Flaute bringt sie wieder zum Sinken. Der Laie glaubt, sie sei in ein „Luftloch" geraten. Löcher in der Luft gibt es nicht! Bei schlechtem Wetter mit tiefliegenden Wolken erfordert ein Überlandflug große Erfahrung und angespannte Aufmerksamkeit.

Auf dem Gerätebrett angebrachte Meßgeräte unterstützen den Führer in der Überwachung des Motors (Drehzähler, Benzinuhr u. a.), seines Flugzustandes (Fahrt-, Höhenmesser, Wendezeiger) und des Kurses (Kompaß).

3. Der Steigflug. Der Führer gibt mehr Gas. Der Schraubenzug muß jetzt zusätzlich Hubarbeit leisten. Das Flugzeug wird wie ein bergauffahrendes Auto langsamer. Der Anstellwinkel ist größer als vorher.

Der Leistungsbedarf des Reiseflugs sei 100 PS, der Motor gebe bei Vollgas 130 PS her. Dann kann der „Leistungsüberschuß" von 30 PS zum Steigen verwendet werden. Wäre dieser 50 PS statt 30, dann könnte das Flugzeug schneller steigen. Die Motoren von Jagd- und Kunstflugzeugen besitzen beträchtlichen Leistungsüberschuß, den man auch Steigreserve nennt.

4. Höhenflug. Da der Motor in der dünneren Luft oben beim Ansaugen weniger Sauerstoff bekommt, läßt er wie der Mensch an Leistung nach. Ein Höhengewinn von je 100 m beansprucht daher immer mehr Zeit. Schließlich hat das Flugzeug seine Gipfelhöhe erreicht.

Jetzt kann es nur waagerecht fliegen, aber nicht mehr steigen. Denn der Motor kann nur noch gerade die zum Waagerechtflug erforderliche Leistung aufbringen, nicht aber einen Ueberschuß über diese, der zum weiteren Steigen verwendet werden könnte. Die Gipfelhöhe beträgt für Me 108 (Abb. 31) 5500 m. Sie ist wie die Höchstgeschwindigkeit für jede Maschine charakteristisch.

Verdichtet man vorher durch ein Gebläse die dem Motor zugeführte Luft, dann sinkt seine Leistung langsamer, und das Flugzeug kann eine größere Höhe erreichen. Auch der Mensch braucht ja in großen Höhen künstliche (Sauerstoff-) Atmung.

5. Kurvenflug. Der Führer gibt Querruder und Seitenruder links. Die Maschine legt sich schräg mit dem rechten Flügel höher und beschreibt eine Linkskurve (Abb. 57) um M D als Achse. Die Fliehkraft C treibt sie von M fort. C wird durch die Resultante B von A und G aufgehoben. A ist jetzt größer als G. Auch auf den Körper des Piloten wirkt die Fliehkraft C und setzt sich mit seinem Gewicht G zu einer Resultante A_1 zusammen, die ihn kräftiger senkrecht auf seinen Sitz drückt, er wird „schwerer". Schwere und Fliehkraft sind ja beide Massenkräfte. Hat er die Schräglage (β) nicht richtig getroffen, dann ist A_1 nach innen oder außen zur Sitzfläche geneigt. Er wird nach innen oder außen gedrängt, erkennt hierin die unrichtige Lage der Maschine und verbessert sie durch Querruder.



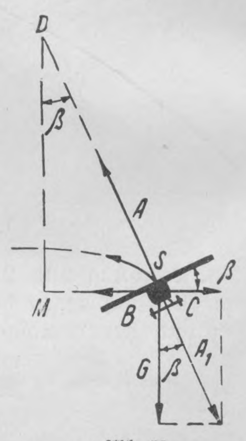


Abb. 57.
Kräftespiel beim Kurvenflug.

6. Gleitflug. Ist das Flugziel nahe, dann drosselt der Führer den Motor auf Leerlauf. Der Schraubenzug Z fällt weg, die Maschine neigt die Nase nach unten und geht in den Gleitflug über (Abb. 58 L = G oder G_2 = W und G_1 = A. G_2 ersetzt Z). Die Maschine erreicht den Erdboden in B. B C = l ist ihre „Gleitstrecke" und h ihre augenblickliche Höhe. $\varepsilon = \frac{W}{A} = \frac{h}{l}$. Ist h = 1 km, $\varepsilon = {}^1/_{10}$, dann ist l = 10 km. Der Pilot kann sich demnach bei einer Motorpanne im Umkreis von 10 km einen passenden Notlandeplatz aussuchen. Je größer h und je besser die Gleitzahl ist, umso größer ist seine Auswahlmöglichkeit. Sie ist gering bei einem Flug dicht über der Erde. Dieser niedrige Flug ist daher unangenehm, läßt sich aber bei tief liegender Wolkendecke oft nicht vermeiden.



7. Sturzflug. Drücken macht den Gleitflug steiler und schneller. Er geht in den Sturzflug über, der aber kein Absturz ist. Die Geschwindigkeit nimmt so lange zu, bis $W = G$ ist (stationärer Zustand). Sie ist beträchtlich. Deshalb stoßen Jagd- und Bombenflugzeuge (Sturzbomber) oft im Sturzflug auf ihr Ziel herab. Durch Ziehen wird die Maschine abgefangen und in die normale Lage gebracht.

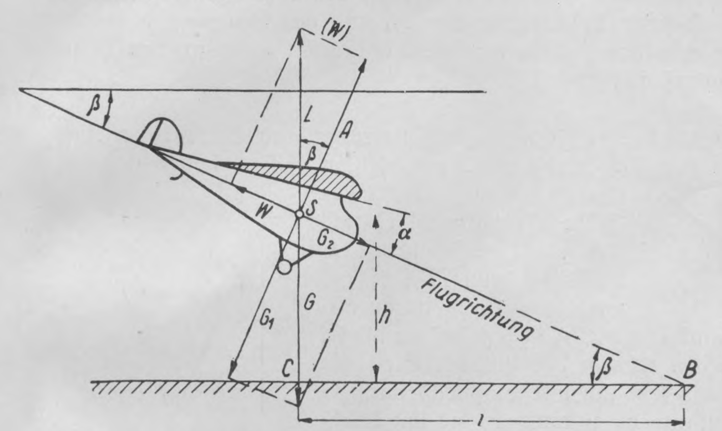
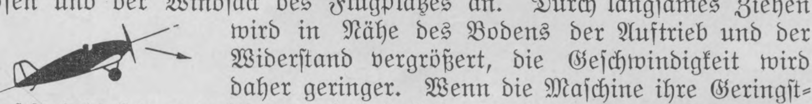


Abb. 58. Kräftespiel beim Gleitflug.

8. Landung und Landegeschwindigkeit. Die Landung erfolgt aus dem Gleitflug gegen den Wind. Die Windrichtung zeigen der Rauchofen und der Windsack des Flugplatzes an. Durch langsames Ziehen



wird in Nähe des Bodens der Auftrieb und der Widerstand vergrößert, die Geschwindigkeit wird daher geringer. Wenn die Maschine ihre Geringstgeschwindigkeit unterschritten hat, sackt sie durch. In diesem Augenblick zieht der Führer das Höhensteuer voll an, der Schwanz des Flugzeuges senkt sich, und es setzt mit den Rädern und dem Sporn zugleich (Dreipunktlandung) auf und rollt aus. Die Federung des Fahrwerks („Federbein") mildert den Landestoß, die Bremsen der Räder verkürzen die Ausrollstrecke. Die Landegeschwindigkeit beträgt heute etwa ein Drittel bis ein Fünftel der Höchstgeschwindigkeit.



Rückenflug.

Es kommt darauf an, schnell zu fliegen und langsam zu landen. Geringe Landegeschwindigkeit v_1 erleichtert den Übergang auf die feste Erde. Da die Maschine kurz vor der Landung etwa parallel zur Erdoberfläche fliegt, ist $G = A = c_a \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2 \cdot F$ und

$$v_1 = \sqrt{\frac{G}{F} \cdot \frac{2}{\rho} \cdot \frac{1}{c_a}}.$$

Eine schnelle Maschine muß einen starken und daher schweren Motor

haben. Ihre Flächenbelastung ist demnach durchweg groß, was für v_l ungünstig ist. Ist c_a groß, fliegt die Maschine also mit möglichst großem α, dann wird v_l klein. Zum Höchstwert von c_a gehört der Kleinstwert von v_l. Ein normaler Flügel verträgt aber nur Anstellwinkel bis etwa 15°, bei größeren Anstellwinkeln reißt die Strömung ab; A sinkt und W wird größer. Das Flugzeug ist überzogen. Es gibt zwei Mittel, den Auftriebhöchstwert zu vergrößern, nämlich Schlitzflügel v und Landeklappen. Vor der Flügelnase liegt ein kleiner Vorflügel (Abb.59 u.60) und an der Hinterkante nach dem Rumpf zu die Landeklappe L_1; die kleinen Querruder liegen ganz außen nahe dem Flügelrande. Kurz vor

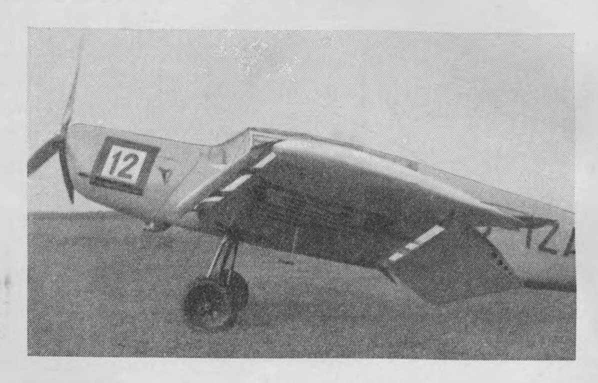


Abb. 59. Tragwerkanordnung BFW Me 108. Schlitzflügel geöffnet, Landeklappe herausgefahren und abwärts geklappt („geschränkt").

der Landung werden Vorflügel v und Endklappe L_2 in die Stellung gebracht, welche Abbildung 60 zeigt. Dadurch wird 1. die Flügelfläche F und 2. die Flügelwölbung und damit c_a vergrößert. Durch die Spalte S_1 bläst ein kräftiger Luftstrahl von der Druck- zur Saugseite und führt der Grenzschicht lebendige Kraft zu; er bläst die Wirbel oben weg. Die Strömung reißt erst bei etwa 25° ab, und die Höchstauftriebsbeizahl geht auf reichlich den doppelten Wert. Die Landegeschwindigkeit der Maschine Me 108 (Bayerische Flugzeugwerke A.-G.) ist etwa 60 km/Std., nur $^1/_5$ ihrer Höchstgeschwindigkeit. Beide Vorrichtungen sind auch beim Start vorteilhaft, sie ermöglichen ein steileres Aufsteigen. Beim normalen Fluge sind die Landeklappen eingefahren (L_1), und auch der Schlitz vorn ist geschlossen. Die Maschinen, die am Europa-Flug 1934 teilnahmen, waren durchweg mit beidem versehen.

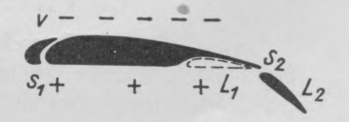


Abb. 60. BFW Me 108. Schlitzflügel und Landeklappe.

9. Flug in bewegter Luft. Bei Gegenwind (Mitwind) ist die Geschwindigkeit über Grund gleich der Differenz (Summe) der Geschwindigkeit(svektoren) von Maschine und Wind.

Ein Flugzeug soll bei Seitenwind von A nach dem Ort B fliegen, der etwa nordöstlich 200 km entfernt liegt. Es startet 12 Uhr mit einer Reisegeschwindigkeit v = 100 km/Std. Bei Windstille wäre es um 14 Uhr am Ziel. Starker Wind kommt aus westlicher Richtung, Windgeschwindigkeit w = 60 km/Std. Wenn das Flugzeug von A nach B im Kompaßkurs abfliegt, kommt es sicher nicht nach B, da es östlich abtreibt. Es muß vielmehr Kompaßkurs Nord fliegen. Bei Windstille würde es nach einer Stunde in E sein. Da es sich aber in einer Luftmasse bewegt, die sich in einer Stunde 60 km östlich verschiebt, ist das Flugzeug nach einer Flugstunde in C, also auf dem richtigen Kurs. Seine Längsachse zeigt im Fluge nicht nach B, sondern nach Norden. — Wann trifft es in B ein?

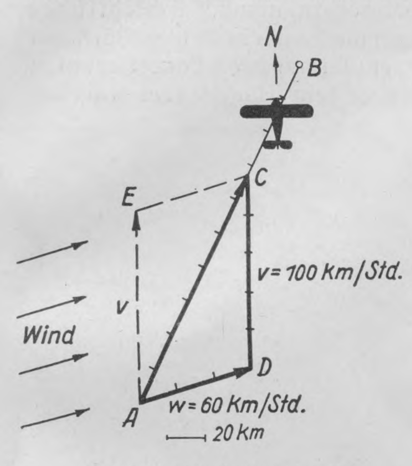


Abb. 61. Flug in bewegter Luft.

Wir zeichnen das Kurs- oder Winddreieck A C D: Wir verbinden auf der Karte A mit B und tragen von A aus die Strecke AD ab. Sie ist nach Größe und Richtung gleich der Windgeschwindigkeit 60 km/Std., die dem Bericht der Luftwetterwarte entnommen wird. 20 km/Std. stellen wir durch $\frac{1}{2}$ cm dar. Dann schlagen wir um D mit der Eigengeschwindigkeit v = 100 km/Std. (= 2,5 cm) einen Kreis. DC ist dann die Kompaßrichtung (N), in der wir fliegen müssen, also der Steuerkurs, während AB der Kartenkurs ist.

VI. Der Segelflug.

1. Grundlagen.

Raubvögel, Störche, Möwen und andere Vögel schweben häufig ohne Flügelschlag längere Zeit in gleicher Höhe dahin, sie „segeln". Lange Zeit war dieser Flug und die Kraftquelle, die ihn möglich macht, unbekannt. Heute wissen wir, daß er nur in aufwärts wehendem Wind möglich ist. Er ist ein Gleitflug in aufsteigender Luft.

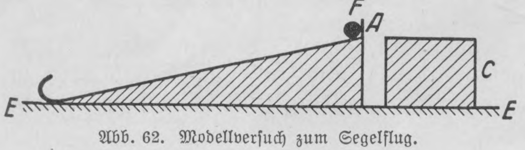


Abb. 62. Modellversuch zum Segelflug.

Wir führen ihn modellmäßig vor in Abb. 62.

Versuch: 1. Die Kugel F rollt in etwa 3 Sekunden die geneigte Rinne AE hinab. Sie verliert im Vergleich mit dem Startpunkt A und der Tischfläche 10 cm an Höhe. — 2. Während des Rollens heben wir die

Gleitbahn und stellen sie auf den Klotz C. F erleidet nur gegenüber A den Höhenverlust, während ihre Höhe über E sich nicht ändert. — 3. An diesem Ergebnis ändert sich nichts, wenn wir die Gleitbahn nicht lotrecht, sondern in irgend einer Richtung schräg aufwärts führen.

Die Kugel stellt das gleitende Flugzeug und die Gleitbahn die Luft, die es durchgleitet, dar. Strömt diese vertikal oder schräg so viel nach oben, wie das Flugzeug in 3 Sekunden an Höhe verliert, dann segelt es in gleicher Höhe über der Erde, während es relativ zur Luft sinkt. Dadurch, daß die Luftmasse steigt, wird sein Höhenverlust ausgeglichen. Steigt die Luft mehr als das Flugzeug sinkt, dann nimmt seine Höhe über der Erde zu. Die Energiequelle, die Hubarbeit am Segelflugzeug leistet, ist der Wind.

Das Vektorendiagramm der Geschwindigkeiten zeigt Abbildung 63. Die Vertikalkomponente h des schräg aufwärts wehenden Hangwindes,

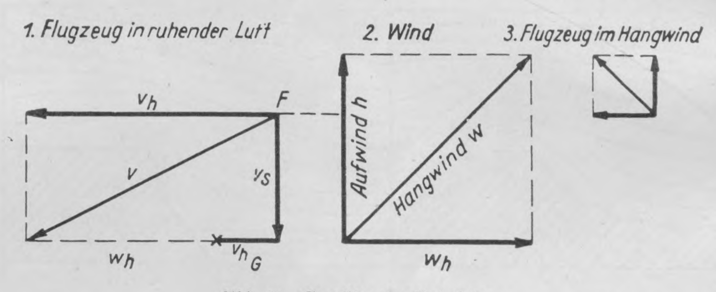


Abb. 63. Segelflug im Aufwind.

der Aufwind, ist größer als die Sinkgeschwindigkeit v_s des Flugzeugs F. Die Differenz ist die Steiggeschwindigkeit des letzteren. Der lange mittlere Pfeil im Diagramm rechts gibt seine Flugrichtung und Geschwindigkeit, der waagerechte seine Geschwindigkeit über Grund und der vertikale seine Steiggeschwindigkeit an.

2. Start.

Das Flugzeug steht mit der Nase gegen den Wind und wird hinten festgehalten. Das Startseil, das aus vielen Hundert Gummifäden besteht, geht durch einen Haken am Bug. Auf das Kommando „Ausziehen" geht die Startmannschaft links und rechts vor und auf „Laufen" in schnellstem Tempo weiter. Auf „Los" wird die Maschine hinten freigegeben und durch das gespannte Seil in die Luft geschnellt (Abb. 66). Das Seil fällt dann herab. Man kann die Maschine auch durch ein fahrendes Auto, mit dem sie durch ein langes Seil verbunden ist, wie einen Drachen hochbringen (Autoschleppflug). Die erreichbare Höhe ist größer, wenn es durch ein Motorflugzeug hochgeschleppt und dann vom Seil gelöst wird (Abb. 64.) Dieser Start ist namentlich für Flugplätze im Flachlande wichtig, da er auch hier das Segeln unter Wolken ermöglicht.

3. Aufwinde.

Aufwinde sind viel häufiger, als man früher glaubte. (Abb. 65.)

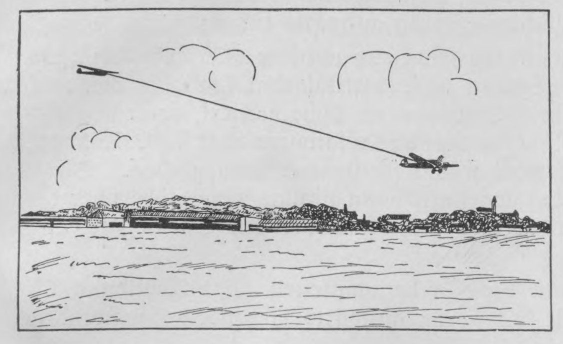


Abb. 64. Die Motormaschine schleppt das Segelflugzeug hoch.

Abb. 65. Aufwindarten.

a. In dem Hangwind an der Luvseite eines Berges, Hügels oder einer Dünenkette (Rossitten) ist eine vertikale Komponente. — b. Der

Steilabfall ist wegen Abreißens der Strömung und Verwirbelung zum Segeln **nicht** geeignet. — c. **Wärme- (thermische) Aufwinde**: Heide-, Sandboden, Kornfelder, trockene Wiese (Mitte der Abbildung 65c) werden durch die Sonne viel schneller und stärker erwärmt als Wasserflächen, feuchte Wiesen, Moor und Wald zu beiden Seiten. Die warme Luft steigt als „Thermikblase" hoch, während seitlich über dem kälteren Boden Luft absinkt. Weshalb kehrt sich abends (d) die „Bodenthermik" um?

e. Wolken entstehen, wenn warme feuchte Luft sich durch Aufstieg so weit abkühlt, daß der Wasserdampf sich in feinen Tröpfchen ausscheidet. Die freiwerdende Kondensationswärme gibt der Luft neuen Auftrieb. Die Aufwindgeschwindigkeit beträgt bis zu 4—6 m/Sek. — f. Bei Wetter-

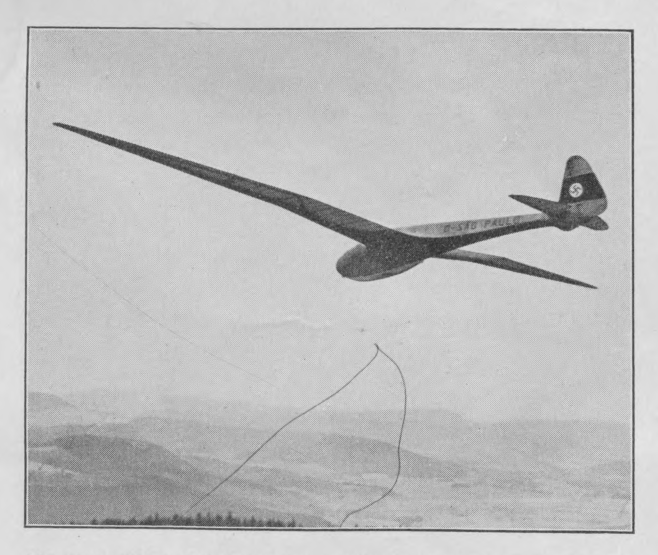


Abb. 66. Segelflugzeug „Zögling" in der Startkurve. Beginn des Hangsegelfluges.

umschlag kommt oft aus westlicher Richtung eine dunkle Wolkenwand, die „Front", heran. Sie bringt kältere Luft. Sie schiebt sich unter die wärmere und treibt diese empor. Auch vor Gewittern steigt Luft heftig und böig hoch und fällt weiter rückwärts wieder ab (Gewitterwalze).

Die ersten Segelflüge wurden im Hangwind gemacht; man kreuzte in der Aufwindzone. Dann flog man, nachdem man sich hochgeschraubt hatte, im Gleitfluge den nächsten Hang an und so fort; man ging „auf Strecke". Das gleiche Verfahren wendet man beim Segeln in Bodenthermik und im Wolkenaufwind an; man fliegt von einem Boden- oder Wolkenaufwind zum nächsten usw. Ideale Möglichkeiten bieten die Front und das Gewitter. Erfahrene und beherzte Flieger haben auf Hochleistungsmaschinen so in stundenlangem Flug oft mehrere Hundert Kilometer zurückgelegt.

Das Leergewicht von Segelmaschinen liegt etwa zwischen 120 und 400 kg, die Flächenbelastung zwischen 10 und 13 kg/qm. Die Gleitzahl geht bis zu $^1/_{20}$, ja $^1/_{27}$. Die Sinkgeschwindigkeit ist klein (etwa 0,8 m/Sek.). Sie haben oft lange schmale Flügel, mit Streckungen bis zu $^1/_{25}$. Sie werden oft von der Mannschaft selbst gebaut und auch instandgehalten. Als Material dient vorwiegend Holz und zur Bespannung Stoff. In den Fliegerortsgruppen des Deutschen Luftsport-Verbandes (DLV) werden neben Segel- auch Motorflug und Modellbau betrieben. Das Deutsche Forschungs-Institut für Segelflug (DFS) in Griesheim bei Darmstadt — es wird von Prof. Georgii, dem wissenschaftlichen Vater



Dittmar startet im Juli 1934 auf der Wasserkuppe zum Weltrekordstreckenflug von 375 km (Flugzeit gut 7½ Stunden). Höchstleistung 1935 über 500 km.

Abb. 67. Hochleistungssegelflugzeug „Sao Paulo". Fluggewicht 340 kg. Fluggeschwindigkeit 50-140 km/Std. Sinkgeschwindigkeit 0,55 m/Sek. Gleitzahl 1:27. Flügelfläche 19 qm. Spannweite 19 m. Baustoff Holz und Leinwand.

des Segelfluges, geleitet — führt die Prüfung der Gleit- und Segelflugzeuge durch.

Jeden Sommer findet auf der Wasserkuppe der Rhön-Segelflugwettbewerb statt. Die Bestleistung im ersten Jahr (1920) war ein Strecken-

flug von 1830 m, heute sind Entfernungen von 200 km keine Seltenheit mehr. Der schöne Segelflugsport, der Hingabe, Mut und Umsicht erfordert, ist eine rein deutsche Erfindung, die inzwischen auch in anderen Ländern Eingang gefunden hat; doch ist Deutschland führend.

VII. Luftschiff und Ballon.

1. Statischer Auftrieb.

Das Flugzeug, das „schwerer als die Luft" ist, kann nur fliegen, wenn seine Flügel angeblasen werden; sein Auftrieb ist dynamisch. Ballon und Luftschiff sind mit Traggas gefüllt und daher „leichter als die Luft". Nach dem Gesetz, das Archimedes vor reichlich 2000 Jahren gefunden hat, ist ihr Auftrieb gleich dem Gewicht der von ihnen verdrängten Luft. Sie schweben in der Luft, ihr Auftrieb ist statisch.

Da 1 cbm Luft rund 1,3 kg wiegt, ist jeder Körper in der Luft um 1,3 kg je cbm Rauminhalt leichter als im leeren Raum. Das Gewicht von 1 cbm Wasserstoff ist 0,1 kg, seine Hubkraft demnach 1,3—0,1 = 1,2 kg; 1 cbm Leuchtgas, das auch zur Ballonfüllung verwendet wird, kann 1,3—0,6 = 0,7 kg tragen.

Wie groß ist die Hubkraft des Heliums? Sein Atomgewicht ist 4.

Die größte Hubkraft (von 1,3 kg/cbm) hätte natürlich ein gasleerer Ballon. Er ist nicht möglich, da der gewaltige Außendruck von 10000 kg auf jeden Quadratmeter seiner Oberfläche sehr kräftige und daher viel zu schwere Metallwände erforderte.

2. Traggas.

Der erste Ballon war aus Papier und von den Brüdern Montgolfier hergestellt; er stieg 1783 unbemannt auf, getragen von warmer Luft.

Der Chemiker Charlier füllte seinen Ballon mit Wasserstoff und machte mit ihm 1783 eine 4stündige Fahrt von 60 km. Seitdem wird meistens Wasserstoff, für Freiballone auch Leuchtgas als Traggas verwendet; er wird auf chemischem Wege oder elektrolytisch aus Wasser hergestellt. Wegen seiner Brennbarkeit möchte man ihn namentlich für Luftschiffe gern durch das ungefährliche Helium ersetzen. Dieses trägt allerdings etwa 10% weniger. Leider ist das Edelgas selten und kommt nur in großer Verdünnung, z. B. in Erdgasquellen in den Vereinigten Staaten von Nordamerika vor. Es wird hier in beschränkten Mengen gewonnen; der Preis ist etwa 7mal so hoch wie der des Wasserstoffes.

Gase sind sehr temperaturempfindlich. Bei Erwärmung um 10° nimmt ihr Rauminhalt um rund $^1/_{27}$ zu. Wird der Ballon also durch die Sonnenstrahlung erwärmt, dann entweicht Traggas durch den Füllansatz unten. Dieser muß offenbleiben, sonst würde der Ballon beim Aufstieg platzen. Der Ballon bleibt prall, wird aber wegen des Gasverlustes leichter und steigt; „die Sonne zieht ihn empor". Zum Schutz gegen Sonnenstrahlung

erhält die Hülle oft einen metallfarbenen Anstrich. Gase sind auch sehr druckempfindlich. In einer Höhe von rund 6000 m zeigt das Barometer nur 380 mm Qu. s. an. Ein Luftschiff in dieser Höhe würde etwa die Hälfte seines Traggases verlieren. Jede seiner Traggaszellen enthält ein Ventil, das sich bei innerem Überdruck lüftet. Erwärmung und Aufstieg haben somit stets einen Verlust an Gas und damit an Hubkraft zur Folge. Warum ist der Stratosphärenballon beim Start nur zum kleinen Teil gefüllt?

3. Das Luftschiff.

Die 5 Motoren des „Graf Zeppelin" verbrauchen je Stunde 400 kg Benzin; das Luftschiff wird also jede Stunde um 400 kg, auf der Amerikafahrt um 35000 kg leichter. Das ist durchaus unerwünscht, denn es hat einen Wasserstoffverlust im Werte von rund 7000 M. zur Folge. Es liegt nahe, den Wasserstoff nicht entweichen zu lassen, sondern in den Motoren auszunutzen. Das geht nicht, weil mit Wasserstoff angetriebene Motoren einen sehr schlechten Wirkungsgrad haben. Beim „Graf Zeppelin" hat man folgende Lösung gefunden: Oben im Schiff liegen Traggaszellen (Abb. 68), darunter im unteren Drittel 12 Kraftgaszellen. Sie enthalten ein aus Rohöl hergestelltes Gas, das als Brennstoff für die Motoren dient. Sein Heizwert ist wesentlich höher als der des Benzins.

Entscheidend ist, daß das Gas ebenso schwer wie Luft ist. Wird es nämlich während der Fahrt verbraucht und durch Luft ersetzt, dann wird das Schiff nicht leichter, bleibt in gleicher Höhe und verliert kein Traggas. Zweitens beansprucht das Treibgas keine Tragkraft, es trägt sich ja selber, da es ebenso schwer wie Luft ist. Würde man nämlich als Treibstoff Benzin nehmen, dann würden die 35000 kg, die auf der Fahrt nach Amerika verbraucht werden, rund 30000 cbm Wasserstoff zum Tragen erfordern, die unterwegs abgeblasen werden müßten.

Der starre Schiffskörper besteht aus Ring- und Längsträgern aus Duralumin; unten liegt als Rückgrat ein fester Kiel mit Laufgang (Abb. 68). Vom mittleren Laufgang führen Gasschächte nach oben, in welche die Traggaszellen durch das Ventil Gas abblasen. Als Triebwerk dienen zwölfzylindrige umsteuerbare – ein Luftschiff muß gelegentlich rückwärts fahren – Maybach-Motoren (je 530 PS) mit Druckschraube. Sie sind in 5 außen aufgehängten Gondeln untergebracht, die während der Fahrt zugänglich sind. Das am Heck angebrachte Höhen- und Seitenleitwerk besteht aus Flossen und Rudern. Erstere halten das Schiff in der Normallage. Wenn man durch „Ziehen" des Höhenruders den Bug hebt, wird das Schiff unter positivem Anstellwinkel angeblasen und bekommt dynamischen Auftrieb. Man kann so ohne Ballastabgabe in gewissen Grenzen seine Fahrthöhe nach Bedarf regeln. Die vorn liegende Führer- und Fahrgastgondel enthält Steuer-, Navigations-, Funk-, Aufenthaltsraum und 10 Doppelkabinen für die Fahrgäste, Küche, Waschräume und WC. Als Besatzung sind 39 Mann, zum Ein- und Ausbringen aus der Halle einige

hundert Mann erforderlich. Für kürzere Zeit legt man das Luftschiff am Ankermast fest.

„Graf Zeppelin" ist ein Starrluftschiff, da das feste Gerippe seine äußere Form erhält. Der Hauptvertreter des starren Systems war Graf Zeppelin, der sich seit 1890 mit Tatkraft dafür einsetzte. Er wurde anfangs verspottet und hatte mit seinen ersten Bauten mancherlei Mißgeschick. 1908 wurde indessen ihre Brauchbarkeit auf einer längeren Fahrt, die überall große Begeisterung erweckte, erwiesen. Als ein Sturm das Schiff bei Echterdingen zerstörte, gab das deutsche Volk dem Grafen durch eine Geldsammlung reichliche Mittel für den Neubau. Der „Luftschiffbau Zeppelin" in Friedrichshafen am Bodensee hat seit 1900

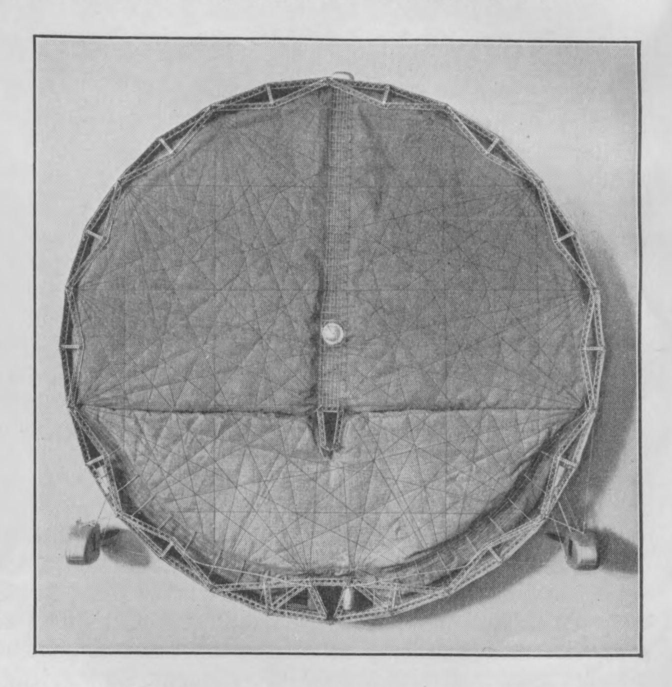


Abb. 68. Querschnitt durch das Luftschiff „Graf Zeppelin".

117 starre Luftschiffe gebaut (10 geplante sind nicht ausgeführt worden). Viele von ihnen haben während des Krieges zur Aufklärung, namentlich über See, gedient und als Bombenträger wertvollste Dienste geleistet.

„Graf Zeppelin" (L Z 127) ist 237 m lang und am größten Querschnitt 30,5 m dick. Seine schädliche Fläche ist ein Kreis von nur 5 m Durchmesser. Sein Leergewicht ist 55 t, dazu kommen 15 t für Besatzung, Treibstoff, Öl, Ballast usw. und 15 t zahlende Nutzlast. Das Schiff enthält 75000 cbm Wasserstoff und 30000 cbm Treibgas. Damit kann es ohne Zwischenlandung 10000 km zurücklegen. Die Höchstgeschwindigkeit beträgt 128 km/Std., die Reisegeschwindigkeit mit gedrosselten Motoren 117 km/Std.

Das Luftschiff, das mannigfach, z. B. bei der Fahrt um die Welt 1929 und bei der Arktisfahrt 1931 seine Tüchtigkeit erwiesen hat, macht jedes Jahr mit Ausnahme einer Ueberholungszeit im Winter regelmäßig Fahrten (nicht Flüge!) zwischen Deutschland und Südamerika und befördert Fahr- (nicht Flug-) gäste, Post und Fracht.

Das neue Luftschiff LZ 129, das Anfang 1936 fertig gestellt ist, hat eine Länge von 250 m und einen größten Durchmesser von 41 m; es kann 190 000 cbm Traggas aufnehmeu. 4 Daimler-Benz Diesel-motoren von etwa 4400 PS Höchstleistung, die in Maschinengondeln untergebracht sind, geben ihm eine Höchstgeschwindigkeit von etwa 135 km/Std. Der Betriebsstoff von 60 t Schweröl ist in Einzel-behältern im Kielgerüst untergebracht.

Die Räume für die Fahrgäste liegen im Innern des Luftschiffs; sie sind in zwei übereinander liegende Decks angeordnet. Das obere enthält außer Wandelgängen (mit großen Fenstern) auf der einen Seite den Speisesaal, auf der anderen eine Halle, Lese- und Schreibzimmer und weiter 25 Kabinen mit 50 Betten. Im Unterdeck sind u. a. Rauchzimmer, Küche, Bad, Meßräume für die Besatzung untergebracht. Die elektrische Zentrale im Mittelschiff liefert den Strom für Beleuchtung, Beheizung und zum Kochen. Im Bug liegt die Führergondel mit Steuer- und Führerraum, Meßraum für die Ortsbestimmung und Funkstation.

Das Luftschiff soll der Beförderung von Fahrgästen, Fracht und Post über lange, vorwiegend überseeische Strecken dienen.

Das unstarre Prall-Luftschiff hat kein festes Gerippe. Damit seine Hülle unter der Last der Gondel nicht einknickt, wird sie unter Druck gehalten. Das geschah bei dem deutschen Parseval-Schiff (1906) durch im Innern der Hülle angebrachte Luftsäcke, in die von der Gondel aus Luft gepumpt wurde.

4. Der Freiballon.

Der Freiballon ist auch unstarr; seine Größe liegt etwa zwischen 600 und 2000 cbm. Nach Abwurf von Sandballast steigt er bis zu einer Höhe, in der seine Hubkraft gleich seinem Gewicht ist. Der Führer wird eine Luftschicht zu erreichen suchen, deren Strömungsrichtung ihm genehm ist. Bei Ventilzug entweicht oben Gas und der Ballon sinkt. Kurz vor der Landung wird das 30—50 m lange Schleppseil, das etwa 20 kg wiegt, ausgeworfen. Der Ballon wird um das am Boden schleifende Tauende erleichtert und dadurch im Sinken abgebremst. Weiter wird die durch den Wind verursachte Bewegung vermindert und drittens der Ballon so gedreht, daß die Reißbahn nach hinten dem Winde zugekehrt ist. Unmittelbar vor dem Aufstoßen des Korbes auf die Erde wird die Reißleine gezogen. Dadurch wird ein langer Stoffstreifen abgerissen; aus der großen Öffnung strömt das Gas schnell aus. Bei kräftigem Winde läßt sich eine Schleiffahrt nicht immer vermeiden.

Der Freiballon dient zu Sportzwecken (Ziel-, Fernfahrt, Gordon-Bennet-Wettfahrt) und zur Erforschung der Atmosphäre. Namentlich

die in etwa 11 km Höhe beginnende Stratosphäre, in der immer schönes, allerdings recht kaltes Wetter ist, sucht man neuerdings zu erreichen, und zwar in luftdichten Kugeln aus Leichtmetall, in denen künstlich der normale Luftdruck erhalten wird. Zur Erforschung höherer Luftschichten verwendet man auch unbemannte Ballone. Sie werden mit selbstschreibenden Geräten ausgerüstet, platzen, da sie geschlossen sind, in großer Höhe, und die Instrumente sinken an einem Fallschirm zur Erde. Der Finder erhält bei Rücklieferung eine Belohnung. — Während des Weltkrieges diente der wurstförmige Fesselballon zur Beobachtung.

VIII. Geschichte des Flugzeugs.

O. Lilienthal ist der erste Mensch, der geflogen ist. Er wollte zunächst einen Schwingenflieger bauen. Als das nicht gelang, ging er 1891 zum Gleitflugzeug über. Bis zum tödlichen Absturz 1896 hat er etwa 2000 Gleitflüge bis zu 350 m Länge ausgeführt. Die ersten Motorflüge wurden ab 1903 von den Brüdern Wright im nordamerikanischen Staate Ohio in selbstgebauter Maschine mit Schleuderstart gemacht. 1904 glückte ihnen der erste Kreisflug, ein Jahr später ein Dauerflug von 39 Minuten und 1908 ein Flug von 2½ Stunden und 115 m größter Höhe. 1909 überflog der Franzose Blériot in 27 Minuten den englischen Kanal. In demselben Jahr betrug die höchste erreichte Geschwindigkeit 56 km/Std. (1935 reichlich 700 km/Std.) und die höchste Höhe 158 m (1935 etwa 15000 m). Deutschland hatte sich bis dahin etwas zurückgehalten. Die Vorherrschaft lag in Frankreich, wo neben einer Reihe tüchtiger Männer seit 1908 auch die Brüder Wright tätig waren. Doch brachte die Deutsche Nationalflugspende 1912 mit einem Sammlungsbetrag von 7½ Millionen Mark unser Vaterland schnell in die vordere Linie: 1913 legte Stöffler auf Aviatik-Doppeldecker mit 100 PS Mercedes-Motor über 2000 km in 22½ Stunden zurück, und kurz vor dem Kriege erreichte ein Deutscher eine Höhe von über 8000 m.

Als man während des Weltkrieges die Bedeutung des Flugzeugs als Aufklärungsmittel und Waffe allmählich erkannte, erhöhte man die Motorleistung und damit Geschwindigkeit und Steigfähigkeit immer mehr. Erst nach dem Kriege ging man dazu über, mehrmotorige Großflugzeuge für verschiedene Zwecke in Dienst zu stellen. Während vor etwa 25 Jahren als Baustoff Holz und zur Bespannung Stoff diente, stellt man namentlich größere Maschinen heute vorwiegend ganz aus Leichtmetall, Aluminiumlegierungen, her. Die Entwicklung ist hier die gleiche wie im Schiffsbau. Ähnlich wie im Kraftwagenbau paßt man die Flugzeuge den verschiedenen Bedürfnissen an. So stellt man Sport- und Verkehrsmaschinen für die Personenbeförderung her, andere Maschinen sind nur für Post- und Frachtbeförderung bestimmt. Kriegszwecken dienen Bomber, Jagd-, Aufklärungs- und Schlachtflugzeuge. Letztere sind gepanzert und beschießen, niedrig fliegend, Erdziele.

IX. Luftverkehr.

Das Streckennetz der 1926 gegründeten Deutschen Lufthansa (Abb. 69) verbindet die wichtigsten deutschen Städte mit den europäischen Nachbarländern. Darüber hinaus schafft es die Luftbrücken bis in ferne Erdteile. Auf den wichtigen Großluftwegen Europas fliegen täglich nach festem Flugplan mehrere Verkehrsflugzeuge. Zum Beispiel besteht zwischen Berlin—Amsterdam—London in jeder Richtung täglich dreimal eine Flugverbindung. Nach Kopenhagen wird zweimal geflogen, ebenso nach Paris. Größte Entfernungen, die bisher Reisen von einem Tag und darüber beanspruchten, können in wenigen Stunden erledigt werden.

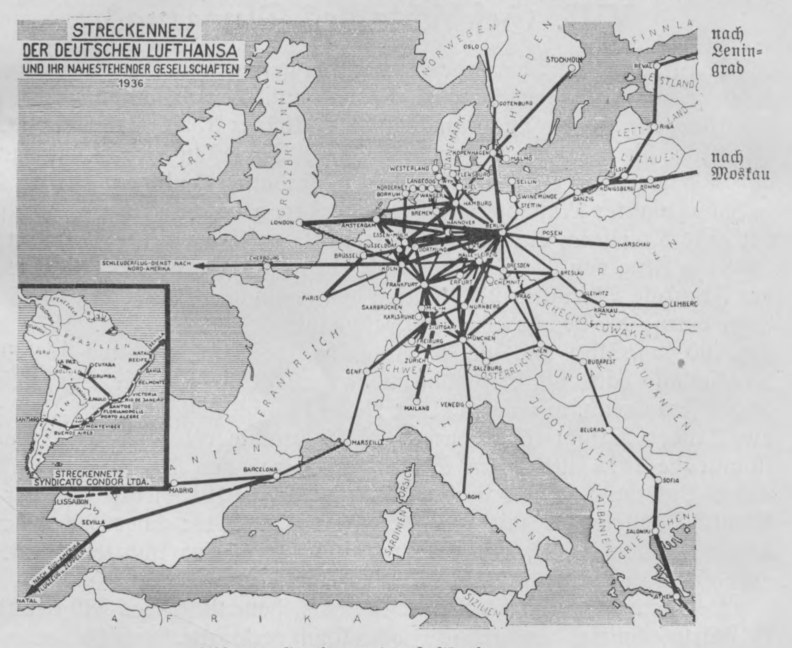


Abb. 69. Streckennetz der Lufthansa.

So kann man beispielsweise an einem Tage von Berlin nach London und wieder zurück fliegen oder mit deutschen Flugzeugen von Moskau nach London an einem Tage gelangen. Hier wird eine Entfernung von 2700 km überbrückt, zu der die schnellsten Bodenverkehrsmittel heute noch vier Tage benötigen.

Täglich werden von der Deutschen Lufthansa über 50 000 km im planmäßigen Streckendienst geflogen. Die Reisegeschwindigkeit, die noch vor 10 Jahren 110 km/Std. betrug, ist auf 250 km/Std. im gewöhnlichen Streckendienst und auf 320 km/Std. auf den Blitzstrecken gesteigert worden. Das 1936 in Dienst gestellte Schnellverkehrsflugzeug He 111 zeigt Abb. 80 auf Seite 59.

Allein im Jahre 1935 hat die Deutsche Lufthansa über 175 000 zahlende Fluggäste befördert und dabei im europäischen Planverkehr 13 250 000 Flugkilometer zurückgelegt. Daneben wurden auf Rund- und Sonderflügen etwa 100 000 Personen befördert. Der junge Luftverkehr, der im Gegensatz zu allen anderen Verkehrsmitteln auf eine kurze Entwicklungszeit (seit 1919)

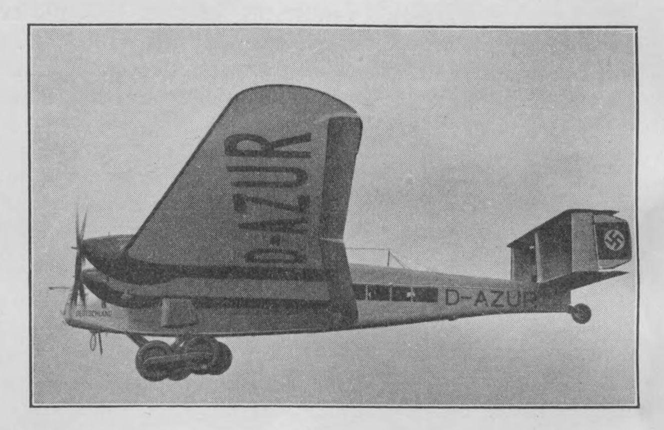



Abb. 70. Ganzmetall-Verkehrsgroßflugzeug der Deutschen Lufthansa (Junkers, Dessau, G 38).
4 Motoren von 3100 PS. Fluggewicht 23 t. 34 Fluggäste und 7 Mann Besatzung. Reisegeschwindigkeit 185 km/Std. Landegeschwind. 78 km/Std. Gipfelhöhe 3200 m.

zurückblickt, kann noch nicht auf eigenen Füßen stehen. Er bedarf noch in allen Ländern der Unterstützung in Form von Beihilfen. Diese Zuschüsse werden von den Völkern gern gegeben, da die Bedeutung des Luftverkehrs für die gesamte Volkswirtschaft überall erkannt wird. Auch der deutsche Luftverkehr hat nur die eine Aufgabe, dem deutschen Volk und der deutschen Volkswirtschaft als schnellstes Verkehrsmittel, sei es für Personen, Post- oder Eilgüter, zu dienen.

So konnte die Postbeförderung bereits gewinnbringend gestaltet werden; namentlich dadurch, daß für alle großen Strecken besondere Luftposttarife eingesetzt wurden. Der gewöhnliche Luftpostbrief darf ein Gewicht von 5 Gramm nicht überschreiten. Er unterscheidet sich also dadurch erheblich von dem einfachen Brief.

Neben der Postbeförderung im gemischten Streckenverkehr betreibt die Lufthansa im Auftrag der Reichspost und Reichsbahn eine Reihe von besonderen Post- und Frachtstrecken, die fast ausschließlich während der Nachtzeiten beflogen werden. Dieses ermöglicht, daß die abends anfallenden Sendungen schon am nächsten Morgen mit der ersten Bestellung in London, Paris, Kopenhagen, Malmö oder wo es sonst sein mag, zugestellt werden können. Auf dem von deutschen Flugzeugen beflogenen Nachtstreckennetz werden in jeder Nacht etwa 7000 km zurückgelegt. Es wurden allein im Jahre 1935 etwa 2 000 to Postsendungen auf dem Luftwege befördert.

Ebenso wie sich das deutsche Luftverkehrsnetz der Tagesstrecken an die Luftlinien des Auslandes anschließt, vermitteln auch die deutschen

Poststrecken den Anschluß an die verschiedenen Großluftwege, die über Europa hinaus führen.

Es ist selbstverständlich, daß sich die hohe Geschwindigkeit des Flugzeugs auf großen Entfernungen besonders auswirkt.

Im Ozeanluftverkehr nimmt Deutschland eine Sonderstellung ein. Die Deutsche Lufthansa konnte im Februar 1934 als erste Luftverkehrsgesellschaft der Erde eine zunächst alle vierzehn Tage, später dann eine in jeder Woche in jeder Richtung verkehrende regelmäßige Luftpost über den Atlantik einrichten (Abb. 71). Der Verkehr zwischen Berlin

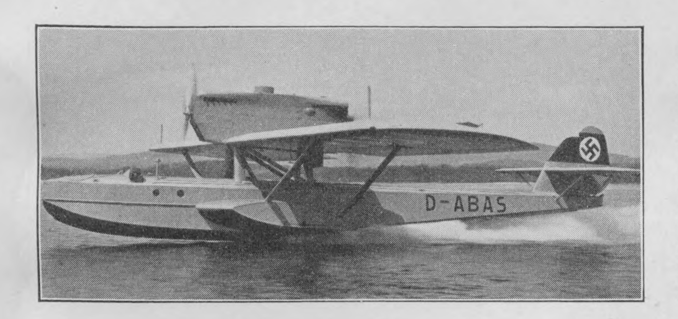


Abb. 71. Dornier (Friedrichshafen) Katapult-Wal für Post- u. Frachtbeförderung. Duralumin und Stahl, Stoffbespannung. Fluggewicht 8,5 t. Motorenhöchstleistung 1300 PS. Flügelfläche 96 qm, Spannweite 23 m. Geschwindigkeiten: Höchst- 230 km/Std., Reise- 210 km/Std., Lande- 95 km/Std.

und der Hauptstadt Chiles, Santiago, wird über die schwimmenden Flugstützpunkte, den Dampfer „Westfalen" und das Motorschiff „Schwabenland", die an der afrikanischen und südamerikanischen Küste kreuzen, durchgeführt. Von diesen Schiffen werden die Dornier-Wal-

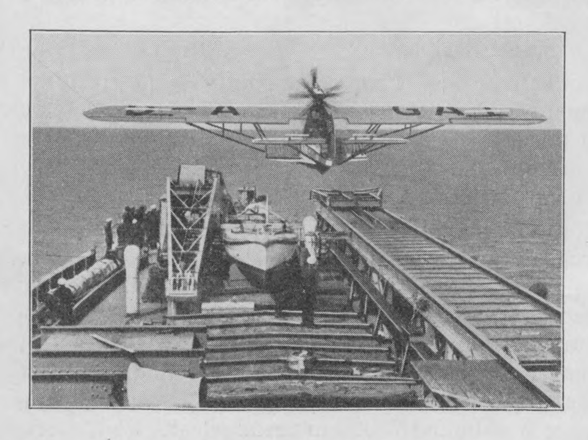


Abb. 72. Abschuß des Dornier-Wals vom Motorschiff „Schwabenland".

Flugboote der Lufthansa mit Großflugzeugschleuderanlagen abgeschossen (Abb. 72), um den etwa 3000 km breiten Atlantischen Ozean zu überqueren. Der Zeitgewinn, der von den deutschen Flugzeugen gegenüber der schnellsten Bodenbeförderung erreicht wird, beträgt allein zwischen Berlin

und Buenos Aires 17 Tage. Hierbei ist es wichtig zu wissen, daß z. B. im ersten Jahr des regelmäßigen Verkehrs, also in der schwierigen Anfangszeit, kein einziger Flug über die planmäßig festgesetzte Zeit hinaus dauerte. Im Nordatlantikverkehr hatte die Deutsche Lufthansa ebenfalls als erste das Flugzeug in Dienst gestellt. In Zusammenarbeit mit dem Norddeutschen Lloyd wurden von den Dampfern „Bremen“ und „Europa“ regelmäßig etwa 1000 bis 1500 km vor Erreichung der Küste Vorausflüge ausgeführt. Auch auf diesen Dampfern befanden sich Flugzeugschleuderanlagen, die Schwimmerflugzeuge mit der Postladung abschleuderten. Da gleichzeitig in Europa Nachbringerflüge stattfanden, konnte die Postlaufzeit zwischen Deutschland und New York jedesmal um etwa 1½ bis 2 Tage verkürzt werden.

Als Flugfracht kommen Pelze, Schmuck, Edelmetalle, Früchte, Blumen, Heilmittel und Ersatzteile für Maschinen und anderes in Frage.

In unerschlossenen Ländern, in denen Eisenbahnen und Autostraßen nur in beschränktem Maße oder überhaupt nicht vorhanden sind, spielt das Flugzeug eine außerordentliche Rolle. Entfernungen, deren Bewältigung früher Wochen beanspruchte, werden jetzt in ebensoviel Stunden zurückgelegt. Die Ausnutzung der Goldlager, die man jüngst im nördlichen, vollkommen wegelosen Kanada entdeckt hat, ist nur durch Einsatz von Flugzeugen möglich gemacht, die Maschinen, Arbeiter, Verpflegung usw. hin- und das gewonnene Gold zurückschaffen. Auch für die Erforschung von Neuland sind Luftfahrzeuge verwendbar: Arktisfahrt Eckeners mit „Graf Zeppelin“, Überfliegung des Pols durch Amundsen und beider Pole durch Byrd.

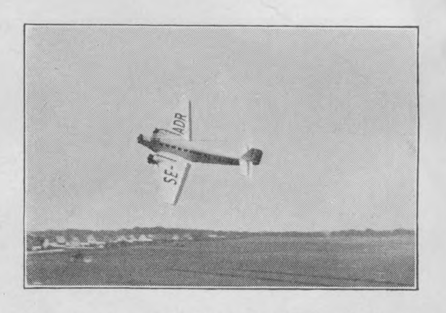


Abb. 73. Das 3 motorige Verkehrs-Großflugzeug Ju 52 über dem Flughafen Malmö in Schweden. 3 BMW-Motoren von je 660 PS. Fluggewicht 9,2 t. 15 Fluggäste. 3 Mann Besatzung. Spannweite 29 m. Geschwindigkeiten: Höchst- 290 km/Std., Reise- (bei 25% Motordrosselung) 260 km/Std., Landegeschwindigkeit 98 km/Std. Gipfelhöhe 6500 m. Baustoff Leichtmetall.
Die Maschine wird auch von ausländischen Luftverkehrsgesellschaften viel verwendet.

Folgende Sicherungsmaßnahmen sind von großer Wichtigkeit für planmäßige Durchführung des Luftverkehrs. Man baut mehrmotorige Maschinen, die bei Ausfall eines Motors noch flugfähig sind. Die Piloten werden unterwegs drahtlos über die Wetterlage auf ihrer Fluglinie benachrichtigt,

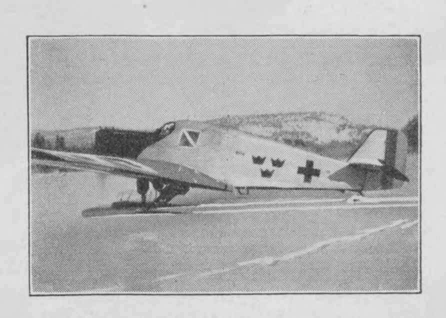


Abb. 74. Sanitätsflugzeug in Lappland (Norweg.)

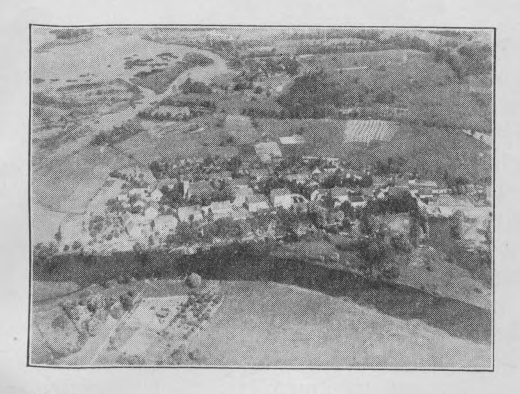


Abb. 75.
Schrägaufnahme aus der Luft von Rahnsdorf am Müggelsee.
Phot. Hansa Luftbild 345. Freigegeben durch RLM 2.1.1935.



Abb. 76. Lotrecht-Aufnahme von Rahnsdorf.
Phot. Bildarchiv D III 8. Freigegeben durch RLM 2.1.1935.

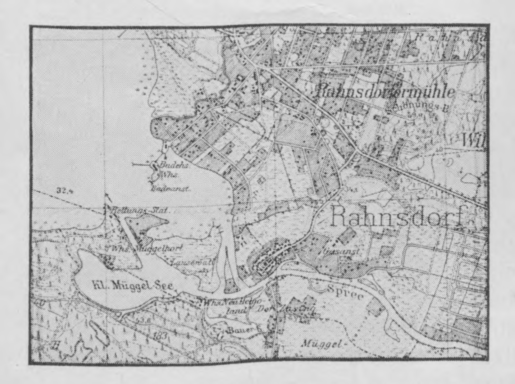


Abb. 77. Reichsamt für Landesaufnahme. Ausschnitt aus Meßtischblatt 1:25 000 Nr. 1910.

in den Vereinigten Staaten Nordamerikas mindestens stündlich. Sie sind im Blindflug ausgebildet, und die Maschine ist mit Blindfluggerät versehen, so daß sie in der Wolke ohne Erdsicht ihren Kurs halten können. Sehr wichtig für die Orientierung ist drahtlose Peilung.

Das Flugzeug findet für folgende Sonderzwecke Verwendung:

1. An 6 deutschen Flugwetterstellen steigen täglich Maschinen zu Höhenflügen auf. Sie untersuchen den Zustand der Atmosphäre; er ist für Erkenntnis der augenblicklichen und Voraussage des zu erwartenden Wetters wichtig.

2. Im Werbedienst z. B. als „Himmelsschreiber" und zum Zettelabwurf.

3. Zur Bekämpfung von Schädlingen (z. B. Nonne) streut eine Maschine, in geringer Höhe fliegend, Giftstoffe über das befallene Waldgebiet aus.

4. Man macht vom Flugzeug aus in regelmäßiger Folge lotrecht nach unten photographische Aufnahmen des überflogenen Gebietes und setzt sie zusammen. Man erhält so ein getreues Bild der Erdoberfläche. Besonders in schwer zugänglichen Gegenden, die noch nicht kartographisch aufgenommen sind, ist die Methode wertvoll. Die Luftbild-

vermessung spielt auch eine große Rolle, wenn man schnell Übersichtskarten, z. B. für Flußregulierungen, Eingemeindungen usw. benötigt.

Abb. 75—77 zeigen eine Schräg-, eine Lotrecht-Aufnahme und schließlich eine Karte ein und desselben Geländeabschnitts.

X. Luftwaffe und Luftschutz.

Auch in Deutschland erkannte man während des Krieges die Bedeutung des Flugzeuges. Man vermehrte daher die Zahl der Flugzeuge stark und steigerte nach Möglichkeit ihre Leistung. Im Oktober 1918 wurden über 2000 Maschinen und fast ebenso viele Motoren hergestellt. Im ganzen haben wir während des Krieges über 40000 Maschinen und fast 50000 Motoren gebaut. Über 7000 Luftkämpfe sind ausgefochten; 72 Flieger haben den Orden Pour le mérite erhalten (Richthofen 80, Udet 60 Luftsiege), fast die Hälfte von ihnen ist gefallen. Nahezu 30 Millionen Kilogramm Bomben sind abgeworfen worden.

Das Friedensdiktat von Versailles hat die deutsche Luftwaffe vernichtet und ihren Wiederaufbau verboten. Wir mußten 2000 Maschinen abliefern, 14000 Flugzeuge, 28000 Motoren und 1 Million Quadratmeter bebaute Hallenfläche zerstören. Das Londoner Ultimatum 1921 untersagte auch den Bau von Verkehrsmaschinen. Unsere Flugzeug-Industrie wurde dadurch ins Ausland getrieben. 1922 wurde uns der Bau von Verkehrsflugzeugen unter außerordentlichen Einschränkungen zugestanden. Erst 1926 wurden diese Bedingungen gemildert. Dabei haben unsere ehemaligen Gegner entgegen den Bestimmungen des uns aufgezwungenen Versailler Vertrages weder zu Lande noch zu Wasser noch in der Luft abgerüstet, sondern ihre Rüstungen verstärkt. Jeder Staat sucht sich auch durch Luftrüstung die Überlegenheit vor seinen vermutlichen Gegnern zu sichern. Unsere Nachbarn verfügen über etwa 15000 verwendungsbereite Flugzeuge, denen wir nach wiedergewonnener Wehrfreiheit eine leistungsfähige Luftflotte und eine gut ausgebildete Flakartillerie entgegenstellen können.

1. Luftangriff.

Die Luftwaffe, die sich seit 1918 weit schneller als jede andere entwickelt, bietet die Möglichkeit, in kürzester Zeit den Willen des Gegners zum Durchhalten zu brechen und die Mittel, die ihm zu Angriff und Verteidigung dienen, lahmzulegen. Nach Ansicht Sachverständiger beginnt der Krieg mit dem schlagartigen Massenangriff von Bombern (Abb. 78). Die Verbände werden planmäßig über das feindliche Gebiet verteilt; die Angriffswellen folgen einander in schneller Folge. Sie werden auf Verkehrsanlagen, Fabriken, Elektrizitäts-, Gaswerke, Häfen usw. angesetzt, und die Bevölkerung der größeren Städte wird nicht verschont bleiben. Die Kampfmittel sind Spreng-, Brand- und Gasbomben. Die Bomben

sind tropfenförmig und tragen hinten Leitflächen. Die Sprengbomben sind bis zu 2000 kg schwer. Die Explosion ihrer Sprengladung ist verheerend. Der Volltreffer einer 100 kg-Bombe bringt ein Großstadthaus zum Einsturz und zerstört im weiten Umkreis die Fensterscheiben. Die Brandbomben sind leicht (etwa ½ bis 5 kg). Ein Bomber kann daher sehr viele mitführen, sie über die angegriffene Stadt verteilen und so schlagartig eine größere Zahl von Bränden erregen. Die Bomben durchschlagen

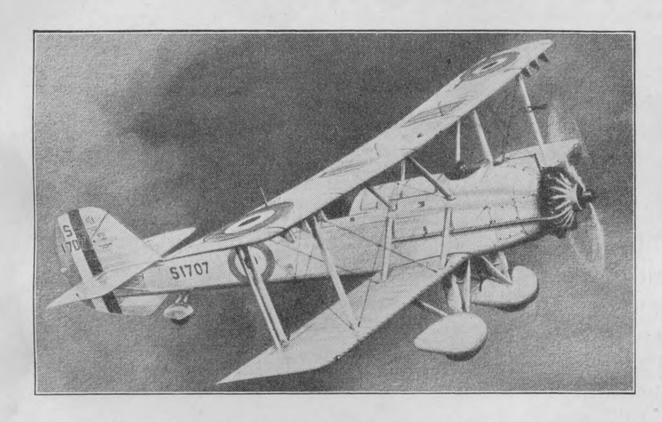


Abb. 78.
Englischer Bomber.

die Dächer und entzünden Dachstuhl und Böden, die meistens aus Holz sind und häufig brennbares Gerümpel enthalten. Die Füllung besteht aus Phosphor, Alkalimetall und Thermit (Aluminiumpulver mit Eisenoxyd). Die Hülle aus Elektronmetall verbrennt mit dem Inhalt unter starker Hitze und lebhaftem Funkensprühen. Löschen mit Wasser ist nicht möglich.

Die sogenannten Gasbomben schließlich enthalten Kampfstoffe, die auf Augen, Atmungsorgane und die Haut starke Reizwirkungen ausüben und vielfach schwerste Schädigungen bewirken.

Nach den Erfahrungen des Weltkrieges und der Ansicht Sachverständiger ist es kaum möglich, einen Bombenangriff zu verhindern. Geschlossen fliegende Bomber haben durch reichliche Maschinengewehre und Jagdflugzeugstaffeln, die sie zum Schutze begleiten, starke Feuerkraft. Da die Zeit zwischen Erkennung des Angreifers und dem Angriff wegen der hohen Fluggeschwindigkeit meistens kurz ist, wird es den eigenen Jagdfliegern, die ja erst starten müssen, oft unmöglich sein, den Angreifer wirksam zu bekämpfen.

Die Lage unseres Vaterlandes in der Mitte von Europa ist für den Luftkrieg besonders ungünstig. Jede deutsche Stadt kann in wenigen Flugstunden von allen Grenzen erreicht und Ziel eines Luftangriffs werden. Besonders besorgniserregend ist die Zusammenballung der Bevölkerung in Großstädten, namentlich an der Westgrenze; etwa ein Drittel unseres Volkes lebt in Städten von mehr als 100000 Einwohnern.

2. Luftschutz.

Die furchtbare Gefahr von Luftangriffen hat viele Staaten veranlaßt, Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung zu treffen. In Deutschland ist der Reichsluftschutzbund, dem jeder angehören sollte, von der Reichsregierung mit ihrer Durchführung beauftragt.

Ein sicher arbeitendes Flugmelde- und Warnnetz ist geschaffen, die Aufstellung von Feuerlösch-, Entgiftungs- und Sanitätstrupps ist in die Wege geleitet. Die Einrichtung von richtig angelegten gas- und splittersicheren Räumen in den Häusern und von geeigneten größeren Sammelräumen wird angestrebt. Luftschutzwarte für Häuser werden ausgebildet. Aufrufe, Zeitschriften klären unser Volk auf über die furchtbare Gefahr, die ihm droht, und rufen jeden zu tätiger Mitarbeit auf.

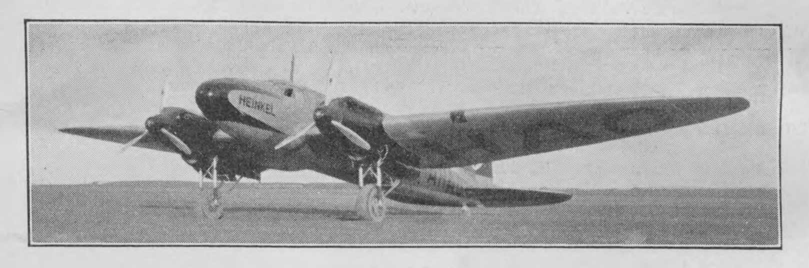


Abb. 79. He 111.

Die neueste Schnellverkehrsmaschine der Lufthansa ist mit 2 neuen deutschen Hochleistungsmotoren von je 880 PS ausgerüstet. Die aerodynamisch günstige Form und die vollkommen glatte Außenhaut ermöglichen eine Höchstgeschwindigkeit von über 410 km/Std. und eine Reisegeschwindigkeit von 350 km/Std. Im Schnellflug wird der km also in rund 9 Sekunden zurückgelegt! In $2^1/_2$ Minuten steigt die Maschine auf 1000 m Höhe. Fahrgestell und Spornrad sind einziehbar. Bei Ausfall des einen Motors ist eine Fortsetzung des Fluges möglich. Das Innere des Rumpfes bietet Platz für 10 Fluggäste. Rauchabteil ist vorhanden. Toiletten-, Wasch- und Gepäckraum sind hinter der Kabine angebracht. Vorn liegen die Sitze für den Flugzeugführer und dem Funkermaschinisten.

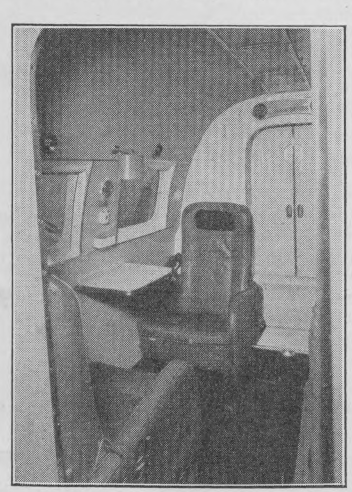


Abb. 80. Kabine des Schnellverkehrsflugzeuges Heinkel, »He 111«. Fluggewicht 7,6 t, Flügelfläche 88 qm, Spannweite 22,6 m, Flügelstreckung 5,9 m, Flächenbelastung 87 kg/PS, Leistungsbelastung 5,8 kg/qm, Höchstgeschwindigkeit 410 km/Std., Landegeschwindigkeit 100 km/Std.

Flugzeugbau und Luftfahrt

erschienen im Auftrage des Deutschen Luftsport-Verbandes

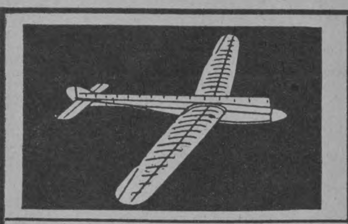
Heft	Titel	Preis
Heft 1	**Der Bau des Flugzeuges** von Dipl.-Ing. E. Pfister. 2. verbesserte Auflage. Teil I: Allgemeiner Aufbau und die Tragflügel. $4\frac{1}{2}$ Bg Gr.-Okt. mit 143 Abb. 2. Auflage	RM 2.—
Heft 2	**Der Bau des Flugzeuges** von Dipl.-Ing. E. Pfister. Teil II: Tragwerksversp.-Leitwerk. $3\frac{1}{2}$ Bg. Gr.-Okt. 91 Abb. 2. Aufl.	RM 2.—
Heft 3	**Der Bau des Flugzeuges** von Dipl.-Ing. E. Pfister u. Dipl.-Ing. H. Eschke. Teil III: Rumpf. 4 Bg. Gr.-Okt. 93 Abb. 2. Aufl.	RM 2.—
Heft 4	**Grundlagen der Fluglehre** von Dipl.-Ing. E. Pfister. Teil I: Luftkräfte. $5\frac{1}{2}$ Bg. Gr.-Okt. mit 59 Abb.	RM 2.50
Heft 5	**Grundlagen der Fluglehre** von Dipl.-Ing. E. Pfister und Dipl.-Ing. V. Porger. Teil II: Tragflügeltheorie. $4\frac{3}{4}$ Bg. Gr.-Okt. 70 Abb.	RM 2.50
Heft 6	**Grundlagen der Fluglehre** von Dipl.-Ing. E. Pfister und Dipl.-Ing. V. Porger. Teil III: Gleichgewichtszustände und Stabilität im Fluge .... (Noch nicht erschienen)	
Heft 7	**Der Flugmotor** von Dipl.-Ing. W. Möller. Teil I: Grundlagen. $4\frac{1}{2}$ Bg. Gr.-Okt. mit 46 Abb.	RM 2.50
Heft 8	**Der Flugmotor** von Dipl.-Ing. W. Möller. Teil II: Konstruktion. $4\frac{1}{2}$ Bg. Gr.-Okt. mit 55 Abb.	RM 2.50
Heft 9	**Der Flugmotor.** Teil III: Moderne Flugmotoren. $6\frac{1}{4}$ Bg. Gr.-Okt. mit 63 Abb. und 2 Tafeln	RM 3.80
Heft 10	**Praktische Fliegerausbildung,** siehe Heft 19 Sportflieger-Ausbildung	RM 2.50
Heft 11	**Gleitflug und Gleitflugzeuge** von F. Stamer und A. Lippisch. Teil I: Konstruktion und praktische Flugversuche. 4 Bg. Gr.-Okt. mit 75 Abb. und 1 Tafel. 2. Aufl.	RM 2.50
Heft 12	**Gleitflug und Gleitflugzeuge** von F. Stamer und A. Lippisch. Teil II: Bauanweisungen und Bauzeichnungen. $1\frac{1}{4}$ Bogen mit 10 Abb. und 5 Tafeln. 2. Aufl.	RM 2.50
Heft 11/12	auch erhältlich in elegantem Leinenband zum Preise von	RM 6.50
Heft 13	**Handbuch für den Jungsegelflieger** von F. Stamer und A. Lippisch. Teil I: Ausbildung, Maschinen, Werkzeuge, Instrumente. Gr.-Okt. mit 87 Abb. 2. Aufl.	RM 2.80
Heft 14	**Handbuch für den Jungsegelflieger** von F. Stamer und A. Lippisch. Teil II: Aerodynamik, Statik, Fachausdrücke. Gr.-Okt. mit 49 Abb. 2. Aufl.	RM 2.50
Heft 13/14	auch erhältlich in elegantem Leinenband zum Preise von	RM 6.50
Heft 15	**Einführung in die Physik des Fliegens** von Dr. K. Schütt. 2. verb. Aufl. 8 Bg. Gr.-Okt. mit 48 Schauversuchen und 88 Abb.	RM 4.—
Heft 16	**Konstruktion und Berechnung des Flugzeuges** von Dipl.-Ing. E. Pfister und Ing. A. Schmidle. Teil I: Konstruktive Grundlagen (in Vorbereitung)	
Heft 16a	**Konstruktion und Berechnung des Flugzeuges** von Dipl.-Ing. E. Pfister und Ing. A. Schmidle. Teil II: Hochdecker-Tragwerk. 83 Abb. u. 2 Tafeln	RM 2.50
Heft 17	**Gleit- und Segelflugschulung** von Fritz Stamer. Mit 23 Abb. 2. Aufl.	RM 2.—
Heft 18	**Die Praxis des Leistungs-Segelfliegens** von Dipl.-Ing. E. Bachem. Mit 54 Abb.	RM 2.80, geb. 4.—
Heft 19	**Sportflieger-Ausbildung** von Dipl.-Ing. O. R. Thomsen. Mit 28 Abb.	RM 2.50
Heft 20	**Flugzeug-Instrumente** von Dipl.-Ing. Kurt Rehder. Mit 98 Abb. 2. Aufl.	RM 3.20
Heft 21	**Flugmotorenkunde** von Dipl.-Ing. K. Schaefer. Teil I: Grundsätzlicher Aufbau der Motoren. Mit 59 Abb.	RM 2.50
Heft 22	Teil II: Die Hilfseinrichtungen. Mit 59 Abb.	RM 2.50
Heft 23	**Flugzeugortung** von Karl F. Löwe, Navigationslehrer der D. V. S. Mit 67 Abb. 2. Aufl.	RM 2.80
Heft 24	**Uebungsflug / Kunstflug / Ueberlandflug** von W. Schulze-Eckardt. Mit 65 Abb. und 3 Tafeln	RM 3.60

Verlag C. J. E. Volckmann Nachf. E. Wette, Berlin-Charlottenburg 2

Volckmanns Baupläne

flugfähiger Flugmodelle

herausgegeben im Auftrage des Deutschen Luftsport-Verbandes



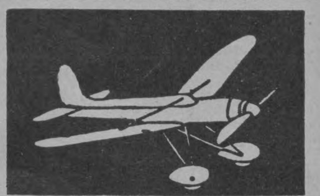
1. Bauplan

Segelflug-Rumpfmodell

Von Oskar Gentsch

Rhönsieger 1931 des DLV-Segelflugmodell-Wettbewerbes. Spannw. 2200 mm, Lg. 1520 mm, Gew. 1,210 kg. Strecke 8850 m bei Handstart.

Preis RM 1.20



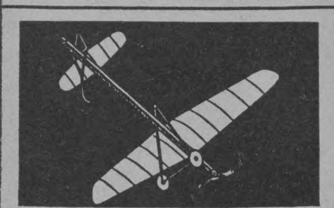
2. Bauplan

Tiefdecker-Rumpfmodell

Von H. F. A. Schelhasse

Spannweite 688 mm, Länge 520 mm, Gewicht 0,135 kg. Ausgesprochenes Rennmodell.

Preis RM 0.80



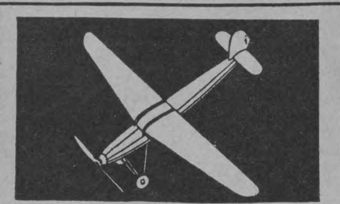
3. Bauplan

Enten-Modell

Von E. Schalk

Spannweite 1150 mm, Länge 1265 mm, Gewicht 0,12 kg. Gipfelhöhe 125 m. Flugdauer über 3 Minuten.

Preis RM 0.80



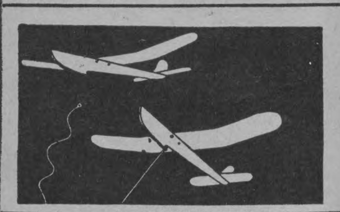
4. Bauplan

Hoch- und Tiefdecker-Rumpfmodell

(Doppelbauplan) von W. Pritschow

neu bearbeitet. Spannweite 1380 mm, Länge 1150 mm, Flugdauer über 60 Sekunden, über 1000 m Strecke. Erfolgr. Wettbewerbsmodelle.

Preis RM 1.20



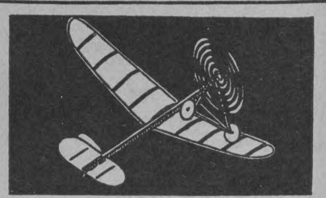
5. Bauplan

Schüler-Segelflugmodell

Winkler-Junior

Spannweite 786 mm, Länge 600 mm. Leicht zu bauendes, sehr instruktives Segelflugmodell, das immer erfolgreich ist.

Preis RM 0.60



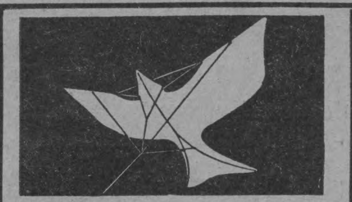
6. Bauplan

Stabmodell mit Gummiantrieb

Von Ernst Schalk

Spannweite 700 mm, Länge 520 mm, Flugdauer etwa 60 Sekunden. Flugstrecken bis 120 m. Für Anfänger.

Preis RM 0.60



7. Bauplan

Zusammenlegbare Flugdrachen

in Vogel- und Flugzeugform

Von Paul Wächter

Spannweite 1,50/2 m/2 m.

Preis RM 0.80



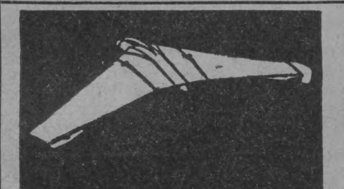
8. Bauplan

Schulterdecker

Von Georg Polzin

Spannweite 1940 mm, Länge 1489 mm, Flugdauer $2^1/_2$ Minuten, Strecke 1,5 km.

Preis RM 1.—



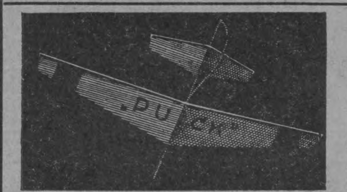
9. Bauplan

Nurflügel-Segelflugmodell

Von Hans Adenaw

Spannweite 3020 mm. Gewicht etwa 2,7 kg, leicht in 3 Teile zerlegbar. Rhönsieger 1933.

Preis RM 1.80



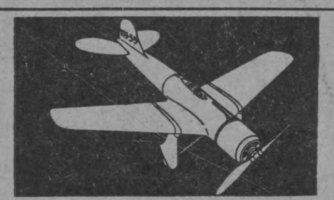
10. Bauplan

Drachen und Segler

Von B. Horstenke und P. Wächter

Neuartige Modelle, die viel Freude hervorrufen werden.

Preis RM 0.80



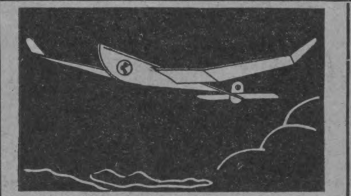
11. Bauplan

Schnellflugmodell

Von H. F. A. Schelhasse

Große Aehnlichkeit mit bekannten Schnellflugzeugen. Weitgehendste Verwendung von Balsaholz und Japanpapier.

Preis RM 1.20



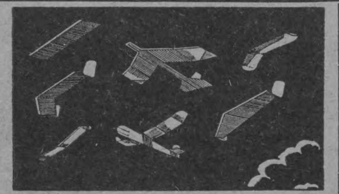
12. Bauplan

Das Hochleistungs-Segelflugmodell

(Der große Winkler)

Rhönsieger 1930. Ueberall erfolgreich. Spannweite 1700 mm. Hochstartfähig. Ausführliches Textheft mit zahlr. Abbildungen.

Preis RM 1.80



13. Bauplan

Gleitflugmodelle aus Pappe u. Papier

Von Horst Winkler

Die in diesem Bauplan beschriebenen Zimmerflieger sind die Vorstufe des Modell-Flugsports für den deutschen Jungen zwischen 10 und 14 Jahren.

Preis RM 0.25